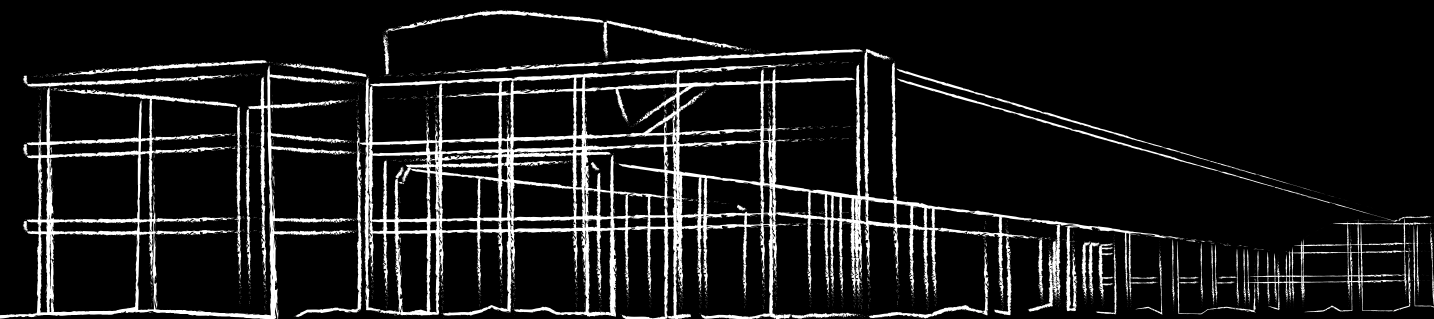


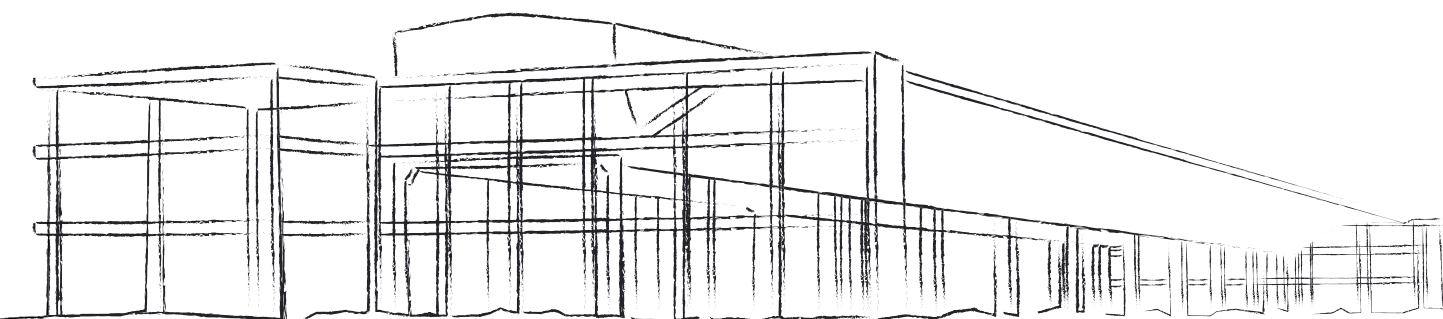
HANGAR LINEAR



PATRIMONIO DESCONOCIDO:

Hangar del antiguo Aeródromo militar Barberán y Collar

ANÁLISIS HISTÓRICO Y ESTRUCTURAL



-índice-

1. Resumen + palabras clave	6
2. Abstract + keywords	8
3. Preámbulo.....	12
3.1 Introducción	12
3.2 Estado del arte	13
3.3 Metodología y objetivo.....	14
4. Hangares: arquitectura militar.....	16
5. Aeródromo Barberán y Collar	20
5.1 Historia y evolución.....	20
5.2 Estado actual.....	29
5.3 Evolución de ortofotografías	32
6. Cáscaras cilíndricas.....	40
6.1 Definiciones	40
6.2 Cáscaras cilíndricas largas de hormigón armado.....	42

7. Antiguo hangar linear del aeródromo de Barberán y Collar.	48
7.1 Planimetría	52
7.3 Análisis estructural.....	64
7.4 Reportaje fotográfico	86
8. Conclusión	100
9. Bibliografía	102
10. ANEXO	
10.1 Planimetría del archivo	
10.2 Mediciones de Informe de patologías	
10.3 Fotografías del archivo	

i.

-resumen-

Un almacén de hormigón armado de 176 m de largo, carente de uso, se halla abandonado en pleno campus universitario. Se trata de un **antiguo hangar del aeródromo Barberán y Collar**. Fue **construido en 1943** como parte de las instalaciones de la A.G.A. (Academia General del Aire), proyecto el cual quedó inacabado. Sin embargo, su estructura ha perdurado hasta la fecha.

El hangar se desarrolla de manera horizontal. **Se distinguen tres cuerpos enteramente hechos en hormigón armado: dos estructuras porticadas** se elevan a ambos extremos de la construcción **y una nave central** sirve como nexo. Ésta última está compuesta de doce pórticos y dos vigas de celosía desde las que parten dos falsos voladizos en forma de láminas curvas. A su vez, **la nave central está cubierta longitudinalmente por una cáscara cilíndrica larga**. Teniendo en cuenta la fecha de construcción del proyecto, el cálculo estructural de dicha membrana no fue posible debido a que por su complejidad técnica no se había encontrado aun un método de cálculo. Éstos se basaban en la Teoría Elástica y partían del uso de un material ideal, homogéneo e isótopo, lo que descartaba el uso de hormigón armado. No fue hasta la aplicación de la Teoría Plástica en 1944 que no se desarrolló un procedimiento de cálculo para cáscaras cilíndricas largas.

El **objetivo** de este trabajo trata de **explicar dentro del con-**

texto histórico de España y más concretamente de la ciudad de Alcalá de Henares **el desarrollo constructivo del aeródromo** complutense, **así como también dentro del cálculo matemático de las láminas cilíndricas largas de cubierta de hormigón armado**. Pero ¿cómo se podría haber realizado dicho cálculo? Para ello se ha seguido una guía de cálculo, Cascarones de concreto (1973) de J.A. Tonda, con el fin de realizar una hipótesis de construcción actual.

En una primera instancia se ha abordado el trabajo investigando la historia del hangar y del cálculo matemático gracias a la revisión bibliográfica. Posteriormente se ha procedido a realizar la planimetría del hangar utilizando como fuente distintos proyectos de la Universidad de Alcalá, actualmente conservados en el Archivo. Para concluir, se ha realizado el análisis estructural centrándose en la cáscara cilíndrica larga.

El atractivo de este tipo de estructuras radicaba en sus formas y en la rapidez de sus construcciones frente a la dificultad que suponía su cálculo antes del desarrollo de una metodología. Sin embargo, una vez alcanzado este punto, dicha complejidad desaparece. Todo ello conllevaría a nuevas líneas de investigación relativas a *¿hasta qué punto forma parte del patrimonio histórico? ¿Se debería demoler el hangar para dar paso a otra generación edificatoria o, por el contrario, se debería intervenir para hacerlo resurgir de entre sus ruinas?*

-palabras clave-

- hangar - Barberán y Collar -
hormigón armado - lámina cilíndrica

A 176 m long reinforced concrete frame, unused, has been abandoned in the middle of an university campus. It is an old hangar of the Barberán y Collar aerodrome. It was built in 1943 as part of the A.G.A. (General Air Academy), project which was not finished. However, its structure has lasted to date.

The hangar is developed horizontally. Three sections entirely made of reinforced concrete are distinguished: two porticoed structures rise at both ends of the construction and a central transept serves as a nexus. The latter consists of twelve porticos and two lattice girders from which two false cantilevers in the form of curved sheets emerge. At the same time, the central nave is longitudinally covered by a long cylindrical shell. Taking into account the date of construction of the project, the structural calculation of said membrane was not possible because, due to its technical complexity, a calculation method had not yet been developed. These were based on the Elastic Theory which entail the use of an ideal, homogeneous and isotope material, ruling out the use of reinforced concrete. It was not until the application of Plastic Theory in 1944 that a calculation procedure for long cylindrical shells was developed.

The objective of this work tries to explain within the historical context of Spain and more specifically of the city of Alcalá de

Henares the constructive development of the Barberán y Collar aerodrome, as well as within the mathematical calculation of the long cylindrical shells of reinforced concrete cover. But, how could such a calculation have been made? For this, a calculation guide has been followed, Cascarones de Concreto (1973) by J.A. Tonda, in order to make a hypothesis of current construction.

In a first instance, the work was tackled investigating the history of the hangar and mathematical calculation thanks to the bibliographic review. Subsequently, the hangar planimetry has been carried out using as a source different projects from the University of Alcalá, currently preserved in the Archive. To conclude, the structural analysis has been carried out focusing on the long cylindrical shell.

The attractiveness of this type of structures lies in its shapes and the speed of its constructions facing the difficulty of its calculation before the development of a methodology. However, once this point is reached, that complexity disappears. All this would lead to new lines of research regarding to what extent is it part of the historical heritage? Should the hangar be demolished to make way for another building generation or, on the opposite, should it be intervened to make it re-emerge from its ruins?

-keywords-

- hangar - Barberán y Collar - reinforced concrete - cylindrical shell



Figura 1 Fotografía de la autora (2019) *Hangar lineal del Antiguo Aeródromo Barberán y Collar*

-preámbulo-

i. introducción

La estructura de hormigón armado del hangar lineal, perteneciente al actual campus externo de la Universidad y cuyo proyecto se le atribuye a Esteban Terradas e Illa (1883-1950), ingeniero español, fue construida, aunque no finalizada, en 1943 como parte de las instalaciones del antiguo Aeródromo de Barberán y Collar

Durante la década de los años treinta, en el panorama internacional se siente inminente el estallido de la Segunda Guerra Mundial, de la cual España se queda al margen. La arquitectura bélica europea adquiere como consecuencia una gran importancia y con ella también un simbolismo como medio propagandístico. Dentro de ella, los aeródromos juegan un papel de suma importancia. Las bases aéreas suponen herramientas tanto de defensa y combate aéreo como de observación, bombardeo y apoyo al avance de las tropas terrestres. Esto explica, por tanto, el auge de la aviación en este periodo de la historia.

En cuanto al aeródromo Complutense, tradicionalmente los terrenos habían sido utilizados como explotación agrícola cerealista. En 1913 se inaugura el aeródromo militar del Campo del Ángel próximo a la ciudad de Alcalá de Henares como auxiliar del de Cuatro Vientos. No obstante, éste queda obsoleto y se crea Barberán y Collar como escuela de vuelo. Durante

la Guerra Civil el aeródromo constituye una base republicana de gran relevancia para la defensa de la ciudad de Madrid. Finalmente, en 1939 se designa la ciudad de Alcalá de Henares como emplazamiento de la Academia del Ejército del Aire en el actual campus universitario y en 1943 se inician las obras de lo que serían sus instalaciones. Sin embargo, la A.G.A. se traslada a San Javier, dejando los trabajos inacabados. Las instalaciones se destinan a distintas sedes militares hasta que en 1965 se produce el cierre definitivo del aeródromo. Durante diez años los terrenos quedan abandonados hasta la creación del campus externo de la universidad, cuya propiedad se ha mantenido hasta la actualidad.

El resultado a día de hoy del hangar lineal es una estructura abandonada y desnuda de pórticos de 176 m de largo en un entorno estudiantil sacada de contexto, quedando a la vista, por tanto, el esqueleto de hormigón armado.

El fin de este trabajo se centra, por tanto, en la investigación y análisis del enclave del hangar, así como la historia que lo envuelve. Para terminar, se realiza el estudio estructural general, deteniéndose más detalladamente en la cáscara cilíndrica larga de hormigón armado que conforma la cubierta principal de la nave.

ii. estado del arte

Actualmente esta estructura de hormigón armado es la gran desconocida del campus externo de la universidad. Se han publicado escasos libros y artículos sobre la historia de la vida del aeródromo Barberán y Collar. Sin embargo, ninguno de ellos habla detalladamente del hangar lineal ni del proyecto del complejo al que pertenecía. La información más precisa se encuentra guardada en el Archivo Municipal de Alcalá de Henares y en el de la Universidad de Alcalá. Es por ello que con este trabajo se pretende aportar una información más clara y detallada tanto del enclave como de su historia dentro del estudio de la historia civil española.

Por otro lado, en lo referido a los cascarones de hormigón armado, hay publicadas varias guías de cálculo de este tipo de estructuras, como son *Cylindrical shells* (H. Lundgren, 1949) y *Cascarones de concreto* (J.A. Tonda, 1973). También se ha escrito una tesis que expone el origen y desarrollo del cálculo de este tipo de estructuras, además de diversos artículos publicados de la misma autora, M.Martínez. Aprovechando estos estudios previos, el en presente trabajo se realiza el análisis estructural de la cáscara cilíndrica larga que conforma la estructura principal de la cubierta del hangar.

iii. metodología y objetivo

Para abordar el análisis del hangar lineal del antiguo aeródromo complutense se han seguido **tres líneas de investigación** abordando desde lo más general hasta llegar al detalle. Los bloques en los que se divide el trabajo son:

i. **Contexto histórico**, tanto el que rodea la construcción del hangar, y por tanto, del aeródromo Barberán y Collar, como el referido al cálculo estructural.

ii. **Aproximación técnica y morfológica** del proyecto con la elaboración de la planimetría correspondiente.

iii. **Análisis y cálculo estructural** del cascarón de hormigón armado que compone la cubierta de la nave.

BLOQUE 1

El primer bloque es el histórico. En él se ha estudiado cronológicamente los sucesos que han acompañado la construcción del hangar, para lo cual ha sido clave la revisión bibliográfica. En este primer apartado se diferencian a su vez dos subapartados: el primero trata de la evolución del enclave, mientras que el segundo consiste en un acercamiento. también histórico, al cálculo estructural de las cáscaras cilíndricas.

En una primera instancia se ha estudiado el nacimiento, así

como la evolución, del Aeródromo Barberán y Collar y su enclave, contextualizando previamente con el origen de la aviación a motor y enmarcándolo dentro del panorama bélico nacional e internacional. Además, se han realizado sucesivas visitas de campo para documentar el estado de los vestigios del aeródromo y el nuevo uso que han adoptado en la actualidad.

Por último, se han descrito brevemente las láminas como estructuras y se ha introducido la historia del cálculo matemático de dichas membranas de hormigón armado con el fin de conocer cómo surge el presente trabajo.

BLOQUE 2

La segunda línea de investigación ha consistido en la elaboración de la planimetría del hangar, así como también de un levantamiento virtual en tres dimensiones. Puesto que actualmente no hay nada publicado al respecto, se han consultado distintos proyectos e informes del Archivo de la Universidad de Alcalá contrastándolos entre sí.

BLOQUE 3

Se trata del capítulo más técnico. En dicho bloque se ha llevado a cabo un análisis estructural del hangar. En primer lugar, se han identificado y jerarquizado los distintos elementos que componen la nave mediante una axonometría explotada.

A continuación, se ha realizado el análisis estructural de la cáscara cilíndrica larga que compone la cubierta de la nave central mediante hojas de cálculo. Para ello se ha empleado como guía el libro de J.A. Tonda *Cascarones de concreto* (1973), actualizando los datos desfasados por la época, de tal manera que se ha realizado una hipótesis de construcción actual.

El objetivo final del trabajo es, por tanto, contextualizar el hangar actualmente abandonado del campus científico tecnológico de la UAH para posteriormente calcular de forma manual la lámina cilíndrica larga que compone la cubierta.

-hangares: arquitectura militar-

La aviación a motor tal y como hoy en día la conocemos se inició a principios del siglo XX, en 1903, a mano de los hermanos Wrigth. Pocos años después, en 1909, surgió en un pueblo francés llamado Viry-Châtillon el primer aeródromo organizado como tal. Fue proyectado por el arquitecto Guillaume Tronchet y se trataba básicamente de una pista circular de despegue y aterrizaje.

En los años posteriores se fueron desarrollando los hangares para guardar y realizar operaciones de mantenimiento de las aeronaves. Los hangares fueron y son obras notorias de la ingeniería ya que sus estructuras deben salvaguardar grandes luces pero también una altura libre considerable para que puedan entrar el mayor número de naves posible. Desde un primer momento su diseño tomó prestadas las técnicas constructivas desarrolladas hasta el momento de las naves industriales debido a la similitud de sus requisitos: grandes espacios diáfanos.

Las naves industriales surgieron en el siglo XVIII con la Revolución industrial. En su origen eran de madera, sin embargo, ya para la época del nacimiento de la aviación, la industria siderúrgica se había desarrollado lo suficientemente como para aplicarla a la construcción de las naves y, por tanto, también

de los hangares. Se realizaban total o parcialmente con estructuras de acero: cerchas metálicas apoyadas en muros de carga tradicionales o pilares metálicos y una envolvente ligera de chapa metálica. El único inconveniente que tuvo el avance de las cerchas fueron las uniones roblonadas, heredadas de la arquitectura en madera, hasta que se mejoraron las uniones atornilladas y se perfeccionaron las soldaduras.

Paralelamente, la invención del hormigón armado a mediados del siglo XIX y su rápida aplicación a la construcción, supuso otra gran revolución debido al ahorro económico y favoreció la aparición de nuevos modelos de estructuras.

Dentro del panorama internacional, la tensión política de la primera mitad del siglo XX y las guerras mundiales supusieron el avance de la aviación con propósitos militares y, por consiguiente, también de los hangares, aunque realmente la era de oro de la aviación fue en el periodo de entreguerras.

“aeródromo
De aero- y el gr. δρόμος drómos ‘pista de carreras’.
1. m. Terreno llano provisto de pistas y demás instalaciones necesarias para el despegue y aterrizaje de aviones, generalmente de carácter militar y más reducido que el aeropuerto.”
(R.A.E.)

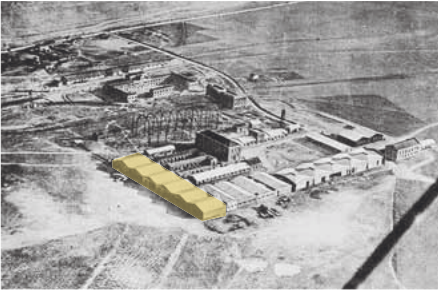
“hangar
Del fr. hangar.
1. m. Cobertizo grande, generalmente abierto, para guarecer aparatos de aviación o dirigibles.”
(R.A.E.)

Figura 2 Wright, W. y O. (1903) 1903 machine and large camp building where it was housed, and smaller building used as a workshop and living quarters at Kill Devil Hills [fotografía]. Washington, D.C. : Library of Congress



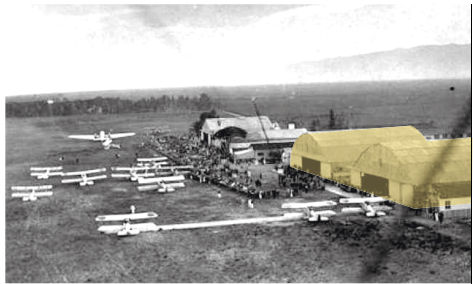


_panorama nacional



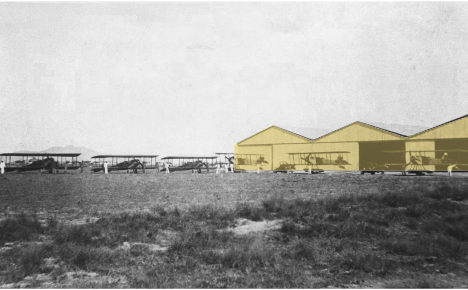
1911
Cuatro Vientos
Madrid

4.2



1921
Prat del
Llobregat
Barcelona

4.4



1918
Los Alcázares
Murcia

4.3



1923
Los Llanos
Albacete

4.5



1934
Sabadell
Barcelona

4.7

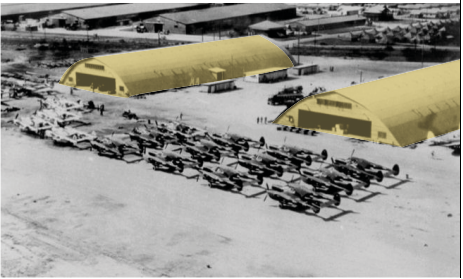


1943
Aeródromo
Barberá y Collar
Alcalá de Henares

4.9

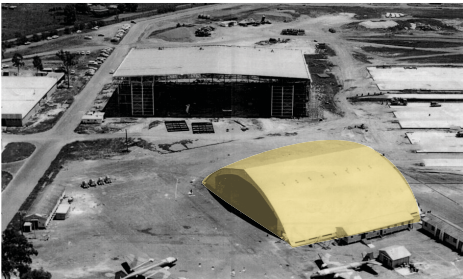


_panorama internacional



1925
Eagle Farm
Airfield
Reino Unido

4.6



1940
Amberley
Reino Unido

4.8

1910

1920

1930

1940

1950

I Guerra Mundial

Guerra Civil

II Guerra Mundial

-aeródromo Barberán y Collar-

i. historia y evolución

Para poder entender los hechos que envuelven la memoria del antiguo aeródromo de Barberán y Collar es necesario contextualizar previamente en la historia de la aviación y en los sucesos que ocurrieron en España y Europa durante el siglo XX (JRF, 2015).

CONTEXTO

Como se ha mencionado en el capítulo anterior, **el inicio de la aviación a motor** tal y como la conocemos en la actualidad tuvo lugar el **17 de diciembre de 1903**, fecha en la cual se efectuó el primer vuelo protagonizado **por los hermanos Wright en EE. UU.** Años después, **en 1909 se consigue el primer vuelo en territorio español**, más concretamente en Valencia, a manos de Gaspar Brunet i Vadera. Es aquí donde comienza la historia aeronáutica española.

Alcalá pronto se ve involucrada en la aviación española gracias a su ubicación próxima a la capital. El 22 de octubre de 1910 el piloto francés Jean Mauvais completó el primer vuelo en biplano entre Madrid y Alcalá, aterrizando en un simple campo de cultivo.

Mientras, la milicia española adquirió sus **dos primeros aviones y creó el primer curso de oficiales de vuelo en**

1911 en el aeródromo de Cuatro Vientos (Madrid). Progresivamente se fue aumentando tanto el número de aeronaves militares como el de pilotos de vuelo, procedentes de todas las armas del Ejército de Tierra y de la Marina. Con este historial **se creó el Servicio de Aeronáutica Militar en 1913**. Este servicio agrupaba tanto Aerostación, ubicado en Guadalajara, como Aviación en Cuatro Vientos. Con el desarrollo de la aviación se abrió ese mismo año al tráfico aéreo un campo en la localidad de Alcalá de Henares, el Campo del Ángel, junto a la actual carretera de Daganzo.

En 1914, con el estallido de la I Guerra Mundial en Europa, se ralentiza la aviación española ya que la adquisición de aeronaves se hace exclusiva para los países beligerantes. Sin embargo, tras la finalización del conflicto, los países involucrados se encontraron dotados de numerosas aeronaves. Muchos de estos excedentes bélicos fueron vendidos al Ejército español, que pudo consolidar la Aviación militar en nuestro país.

Ya en los años 20 se inició la fabricación de aeronaves militares en los talleres de Cuatro Vientos. Por esta época se hallaban abiertas ya cinco escuelas de aviación: una en Sevilla (Tablada), otra en Murcia (Loa Alcázares) y tres en Madrid (Cuatro Vientos, Getafe, y Alcalá de Henares).

AERÓDROMO BARBERÁN Y COLLAR

La escuela de Alcalá de Henares se encontraba al norte de la ciudad, en el **Campo del Ángel, inaugurado en 1913**. El terreno apenas tenía un kilómetro de longitud y se compartía con las unidades de Caballería, además de tener también un uso civil. Ni siquiera estaba acondicionada la pista para vuelos nocturnos. El aeródromo constaba únicamente de cuatro hangares, un taller y un pequeño alojamiento para pilotos.

Debido a estas carencias, se vieron obligados a solicitar un nuevo Campo de Vuelo. El Ayuntamiento de Alcalá cedió unos terrenos al este de la ciudad, junto a la carretera de Meco. **En 1929 se aprobó el proyecto del nuevo aeródromo Barberán y Collar**. El nombre fue dado años después en recuerdo a dos pilotos militares que desaparecieron en México.

Las obras del aeródromo no comenzaron hasta 1933. En 1934 se construyó la primera Torre de Mando y se inauguró ese mismo año la Escuela de Vuelo y Combate de Barberán y Collar. Ya en 1935 se añadieron al conjunto el edificio principal, un refugio subterráneo y seis hangares de estructura metálica.

Con el surgimiento de la Guerra Civil española el 18 de julio de **1936, la escuela de vuelo se vio obligada a trasladarse a Alcantarilla (Murcia)**. Nunca más volvería a Barberán y Collar. Sin embargo, el aeródromo permaneció activo durante el conflicto.

Para julio de 1936, España contaba con aproximadamente 360 aviones militares y más de 600 pilotos activos. Con el inicio de la **Guerra Civil**, se calcula que el bando republicano poseía el 80% de los aviones y eran leales a él el 35% de los jefes y oficiales de aviación y el 90% de los mecánicos, soldados y clases. Evidentemente estas cifras variaron con el transcurso de la guerra.

Salvo por una pequeña sublevación rebelde en los cuarteles complutenses que pudo ser neutralizada en julio de 1936, **el aeródromo permaneció en el bando republicano**.

En agosto de 1936 llega al aeródromo la Escuadrilla Malraux para intervenir en los distintos frentes. Se trataba principalmente de mercenarios y de pilotos voluntarios en su minoría que trabajaban para el bando republicano. A finales de año, y como consecuencia de hospedar dicha escuadrilla, el aeródromo sufrió dos bombardeos.

Alcalá tenía una ubicación estratégica. Es por ello por lo que tanto el aeródromo como la ciudad recibieron numerosos bombardeos a lo largo de la contienda. Generalmente se trataban de objetivos militares para reducir las fuerzas del oponente, pero a veces también civiles para minar la moral de los conciudadanos.

Con la Batalla de Brunete en julio de 1937 el frente se desplazó hacia el norte, perdiendo así Barberán y Collar la importancia estratégica de la que había gozado hasta dicho momento. Apenas se mantuvo activo durante el resto del conflicto.

Acabada la guerra **en 1939**, el bando vencedor reorganiza el Ejército. Es así como **se crea el Ejército del Aire**, formado por la Aviación y las Tropas de Aviación. El Ministerio de Defensa Nacional desaparece y es sustituido por los ministerios del Ejército, del Aire y la Marina. Por otra parte, se distribuyeron las distintas escuelas militares de aviación, dejando Alcalá de Henares al margen.

Muchos aeródromos fueron abandonados, ya que habían tenido su razón de ser únicamente durante el conflicto. Afortunadamente, el aeródromo complutense, gracias a sus instalaciones permanentes y de interés, se mantuvo activo albergando el Grupo 44 en 1940, el 1er Regimiento Mixto (1941-1951), el Grupo de Experimentación en Vuelo (1946), el 1er Regimiento

de Transportes (1951-1955), 28º Regimiento (1955-1961) y la 99 Escuadrilla (1964).

Durante la II Guerra Mundial (1939-1945), Barberán y Collar recibió en 1943 a parte de la Escuadrilla Azul. Se trataba de pilotos voluntarios españoles que envió la España franquista para luchar junto a la Fuerza aérea alemana Luftwaffe contra los rusos. Realmente acogió solo a la 4ª y 5ª escuadrilla.

En 1940 se propuso la instalación de la Academia General del Aire (A.G.A.) en la localidad de Alcalá de Henares. La proximidad a la capital, la ya existencia de un aeródromo y el favor del Ayuntamiento eran circunstancias claves que promovieron dicha decisión.

En 1941 se inició la construcción de un edificio, el llamado Edificio Escuadrón (actual facultad de Ciencias) con el fin de albergar la academia. En su origen, el edificio estaba formado por dos construcciones exentas enfrentadas y de no más de dos plantas. Aunque la estructura ha permanecido hasta la actualidad, ambos cuerpos se han unido hasta conseguir en planta un único edificio en forma de ‘Y’ y se ha añadido un tercer nivel.

Otra de las aportaciones para la A.G.A. fue la **concepción de seis hangares lineales de hormigón armado** similares entre sí y agrupados de a tres. **En 1943** se empezó a construir el primero de ellos, el cual es el objeto del presente trabajo, y que se quedó inacabado con el **traspaso de la A.G.A. a San Javier** a finales de ese mismo año. Se desconocen las verdaderas razones de ese repentino traslado, a pesar de que San Javier siempre había desempeñado un importante papel en la aviación española, la decisión supuso un gran coste económico.

El edificio Escuadrón que también había quedado inconcluso, se destinó **en 1947 a la 1ª Bandera Paracaidista**, alias Primer Escuadrón Paracaidista, que se instaló en el aeródromo

Figura 11 (1944) *Aeródromo Campo del Ángel* [fotografía]
Disponible en: <https://alcalaturismoymas.com/el-antiguo-aeropuerto-de-alcala-de-henares/> [Consultado 2019]



Figura 12 *Aeródromos activos o en construcción durante la Guerra Civil* [imagen] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

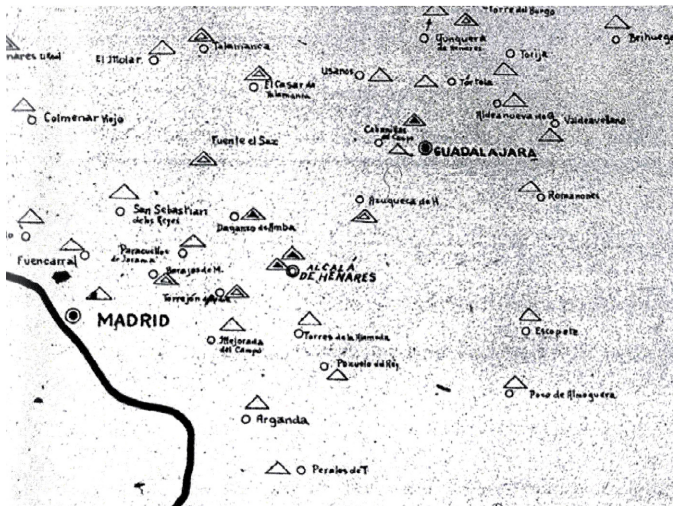


Figura 13 *Paracaidistas en el patio de armas del Edificio Escuadrón* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense





Figura 14 Anónimo (1987) Vista aérea del Aeródromo Barberán y Collar de 1967 [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

hasta su disolución en 1965.

En 1953 se dieron dos circunstancias claves que llevaron a los EE.UU. a pactar con España:

- En 1950 la ONU levantó el destierro político de España por considerarle afín a los países derrotados en la II Guerra Mundial.
- Se inicia la Guerra Fría (1947-1991), liderada principalmente por Estados Unidos contra la URSS.

Se acordaron los pactos de Amistad y Cooperación: España permitía el uso de infraestructuras en su territorio a los americanos a cambio de recibir ayuda militar. Entre los puntos estratégicos escogidos por EE.UU. estaba Cuatro Vientos. Esto supuso el auge de dicho aeródromo y, por tanto, el declive para Barberán y Collar debido a su cercanía.

En 1965 se cierra el aeródromo complutense al tráfico aéreo y es abandonado completamente por el Ejército del Aire cuatro años después. Da su fin la aviación en Barberán y Collar.

Con los terrenos desprovistos de uso, la Universidad Complutense de Madrid decide en 1973 crear un campus universitario en el enclave. Entre las intervenciones llevadas a cabo se produce ese mismo año la demolición de la antigua Torre de Mando, un año después se habilita el Edificio Escuadrón para albergar las aulas y se derriban los seis hangares de estructura metálica en 1976.

Poco después **los terrenos pasaron a ser propiedad de la Universidad de Alcalá**, tras ser refundada en 1977 y así se han mantenido hasta la actualidad.

La Universidad decidió crear en el emplazamiento el campus científico-tecnológico. Parte de los edificios que formaban parte del conjunto fueron derribados, otros se han transformado y permanecido hasta nuestros días. Este es el caso del

Cuerpo de Guardia, actual Taller de Vidrio, construido en 1940. La Torre de Mando acoge hoy en día los Servicios Informáticos de la universidad, el edificio principal se ha remodelado para albergar el Departamento de biología celular y genética y el Edificio Escuadrón es la actual facultad de Ciencias.

Todas las instalaciones, que en su momento gozaron de gran importancia militar, han cedido su protagonismo a otras demandas de la sociedad. Hoy en día el origen de esta pequeña parte del patrimonio del campus es desconocido para muchos de los habitantes de esta ciudad, motivo por el cual este trabajo pretende dar luz a la historia de estas instalaciones.

INICIO DE LA AVIACIÓN

1903
Primer vuelo a motor
(hermanos WRIGHT,
EE.UU.)

1910
Primer vuelo en biplano
Madrid-Alcalá
(Jean MAUVAIS)

1918
Se venden los excedentes de
los aviones bélicos a España

1913
Nace el Servicio de
Aeronáutica Militar:
Aerostación (Guadalajara) y
Aviación (Cuatro Vientos)
+
Se activa el aeródromo de
Campo del Ángel (Alcalá de
Henares)

1920
Se inicia la fabricación de
aeronaves militares en España
(Cuatro Vientos)
+
Cinco escuelas de aviación: Cuatro
Vientos, Getafe, Tablada, Alcázares
y Alcalá de Henares.

1926
Creación de la Escala
de Servicio de Aviación

1930
Disolución de la
Escala de Servicio
de Aviación

1933
Creación de la
Dirección General
de Aeronáutica:
Fuerzas Aéreas

1936
Fracaso de la
sublevación
rebelde en Alcalá
de Henares.

1937
Batalla de
Brunete

1936
España posee 360 aviones militares y 600 pilotos activos.
Al inicio de la Guerra Civil, el bando republicano poseía:
_el 80% de los aviones
_el 35% de los jefes y oficiales de aviación
_el 90% de mecánicos, soldados y clases.
Estas cifras variaron posteriormente con el transcurso de la guerra.
* El aeródromo de Barberán y Collar permanece en el
bando de la República.

1939
Se crea el Ejército del Aire:
Aviación + Tropas
+
Se distribuyen escuelas por toda
la Península.

1947
Creación de la Escuela de
Paracaidistas en Alcantarilla
(Murcia)

1954
Ampliación del aeródromo
de Cuatro Vientos

1953
Pactos entre España y EE.
UU.: se establece compartir
la base de Cuatro Vientos

1977
Creación del Ministerio
de Defensa

contexto_

EVENTOS

CONSTRUCCIONES

BARBERÁN Y COLLAR

1929
Se aprueba el proyecto del nuevo
Aeródromo de Barberán y Collar

1936
Se abandona la Escuela.
+
Llega la Escuadrilla Malraux (mercenarios)
+
El aeródromo sufre dos bombardeos

1934
Se inaugura la Escuela de
Vuelo y Combate.

1940
Se propone Alcalá de
Henares para la
instalación de la
Academia General del
Aire (AGA).
+
Se establece en el
aeródromo el grupo 44.

1941
Creación del Regimiento Mixto nº1

1943
La 4ª y 5ª Escuadrilla Azul se
reúnen en Barberán y Collar.
+
Se traspasa la AGA a San Javier

1947
Se instala la 1ª Bandera
Paracaidista

1951
Se instala el 1er Regimiento de
Transportes (sustituye al R. Mixto)

1955
El 28º Regimiento sustituye
al R. de Transportes

1961
Se disuelve el 28º Regimiento
+
Se instala ENMASA
(Empresa Nacional de
Motores de Aviación, S.A.)

1958
Se recomienda
el cierre del
aeródromo.

1964
Se establece la 99
Escuadrilla y
abandona el
aeródromo ese
mismo año

1965
Se disuelve la Primera
Bandera Paracaidista.
+
Se cierra al tráfico aéreo.

1973
La Universidad Complutense de
Madrid decide crear un campus
universitario en Barberán y Collar.
+
ENMASA abandona sus
instalaciones.

1969
El Ejército del Aire
abandona Barberán
y Collar

1975
El aeródromo es utilizado
eventualmente por el Club de
Aeromodelismo Las Águilas

1977
Se refunda la Universidad
de Alcalá

1933
Inicio de las obras

1934
Torre de Mando

1935
Edificio principal, refugio
subterráneo y seis hangares
de estructura metálica

1940
Cuerpo de Guardia
(actual Taller de Vidrio)

1941
Edificio Escuadrón (AGA)
(actual facultad de Ciencias)

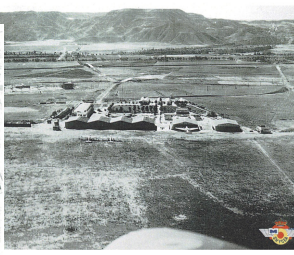
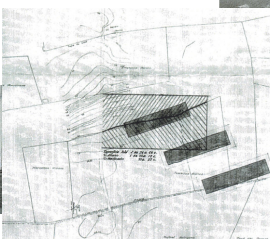
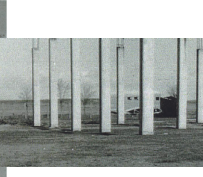
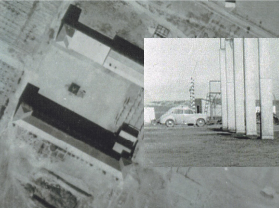
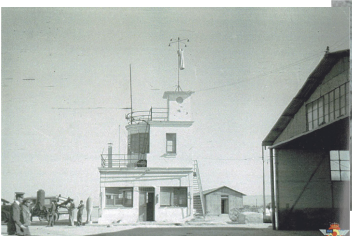
1943
Primer hangar lineal (AGA)

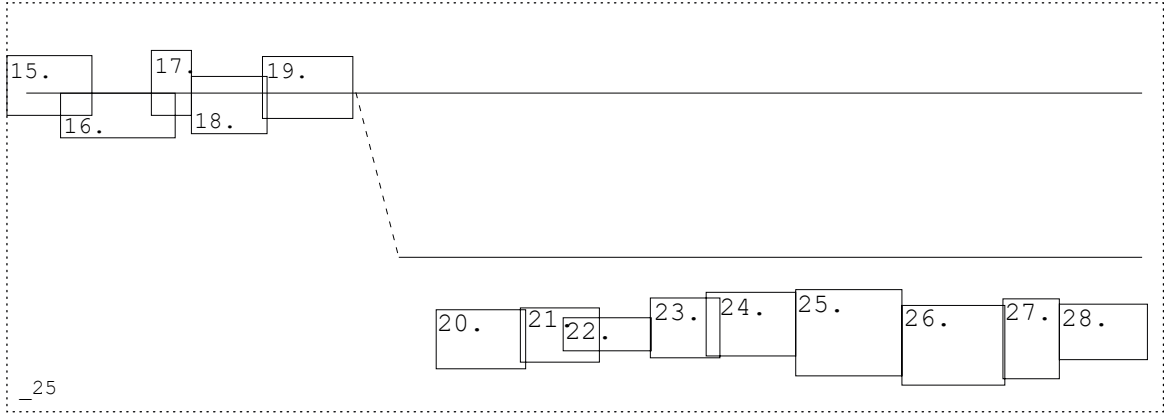
1950
Nueva Torre de Mando

1953
Capilla

1973
Demolición de la
antigua Torre de
Mando

1976
Derribo de los seis
hangares de estructura
metálica





_25

Fotografías originales:

Figura 15 Wright, W. y O. (1903) *Primer vuelo a motor* [fotografía]. Disponible en: <https://historyabiografias.com/wright/> [Consultado 18.10.2019]

Figura 16 (1909) *Puesta a punto del aeroplano de Gaspar Brunet y Juan Oliver, en el Prat de Llobregat “La Volateria” antes de iniciar sus pruebas.* Fondo Josep Monés Amat

Figura 17 *Jean Mauvais* [fotografía]. Disponible en: <https://miradasenior.wordpress.com/2017/09/10/acontecimientos-de-hace-un-siglo-ii/> [Consultado 18.10.2019]

Figura 18 (1921) *Campo del Ángel 1921.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 19 *Aeródromo del Campo del Ángel. Al fondo, ADH.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 20 *Torre de mando original, en los años 40.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 21 *Edificio escuadrón, años 50.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 22 *Pilares de hormigón. Detrás, el fuselaje de un Junkers 52.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 23 *Distribución del primer grupo de hangares proyectados.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 24 (1944) *Aeródromo: hangar lineal en construcción.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 25 *Paracaidistas del Aire preparados para el salto, forman junto a la torre.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 26 (16.04.1955) *Aeródromo.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 27 *Paracaidistas del Aire saltando sobre su cuartel complutense; abajo se puede ver el hangar lineal.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 28 *Patio de armas y torre de secado.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

ii. estado actual

La localización del antiguo aeródromo de Barberán y Collar se ha convertido hoy en día en el campus de la Universidad de Alcalá. Se trata pues de una zona periférica de la ciudad que da cobijo a las facultades del ámbito científico-tecnológico, como la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, la Facultad de Biología y Biología Sanitaria, el Hospital Universitario Príncipe de Asturias o la Escuela Politécnica Superior entre otras.

El campus universitario es por tanto un recinto privado pero que permanece abierto al tráfico de lunes a sábados durante el día y que cierra los domingos, aunque se permite la entrada a los peatones.

ACCESO

Hay tres formas distintas de llegar en transporte al recinto. La primera es en coche. Hay **cuatro entradas al campus**: las dos primeras se encuentran en la carretera de Alcalá-Meco al noroeste del campus, la tercera se haya al suroeste desde la carretera de la Universidad Complutense y la última está al sur accesible desde la A2.

Otra alternativa para llegar al campus es **en tren**. Al sur se

localiza una parada de Cercanías Renfe que lleva el nombre de **Alcalá-Universidad**. Esta estación pertenece a las líneas C-2 y C-8 que comunican la ciudad de Madrid con Guadalajara.

Existe otra posibilidad de llegar en transporte público: el autobús. A lo largo de todo el recinto hay distintas paradas que dan cobertura tanto a líneas urbanas que conectan el campus con la ciudad de Alcalá (línea 2), como interurbanas que llegan hasta Madrid capital.

EDIFICACIONES

El complejo universitario está formado por numerosas edificaciones y no solo de ámbito educativo, si no también residencial, sanitario y deportivo. Sin embargo, este trabajo remarca únicamente las construcciones que se elevaron a lo largo de la vida del aeródromo Barberán y Collar y que han llegado hasta nuestros días, a pesar de sus posibles modificaciones. Entre los vestigios se hallan la Torre de Mando de 1950, el edificio Escuadrón, el Cuerpo de Guardia, la capilla y un hangar lineal.

TORRE DE MANDO

Se trata de un edificio de hormigón armado con acabado exterior de fábrica de ladrillo. A pesar de que tanto su aspecto

exterior como su estructura se han mantenido, su distribución interior tuvo que modificarse en 1976 para adaptarse a su nuevo uso universitario. Actualmente alberga los Servicios informáticos de la universidad.

EDIFICIO ESCUADRÓN

Fue construido en 1940 para acoger la Academia General del Aire. El proyecto original constaba de dos edificios de dos

Facultad de biología y biología sanitaria
(derecha) **Figura 30** Fotografía de la autora (2019)
(abajo) **Figura 31** J. Latova (1989) VII-114 [fotografía]. Alcalá de Henares:
Archivo de la Universidad de Alcalá





y tres alturas enfrentados que conformaban el patio de armas. En 1989 se instaló la Facultad de Biología y Biología Sanitaria de la universidad. Para ello el edificio sufrió una gran reforma que cambió totalmente su apariencia además de la distribución interior. La estructura se mantuvo, el ala norte se elevó con una nueva planta y ambas alas se conectaron mediante otra ala central perpendicular de tres niveles que dio lugar a una planta en forma de “Y”.

EDIFICIO PRINCIPAL

Actualmente esta construcción se encuentra irreconocible. A pesar de que se ha mantenido del proyecto original de 1934 la planta y el ritmo de los huecos de parte de las fachadas, su apariencia ha sido totalmente transformada. Hoy en día es la sede del Departamento de biología celular y genética.

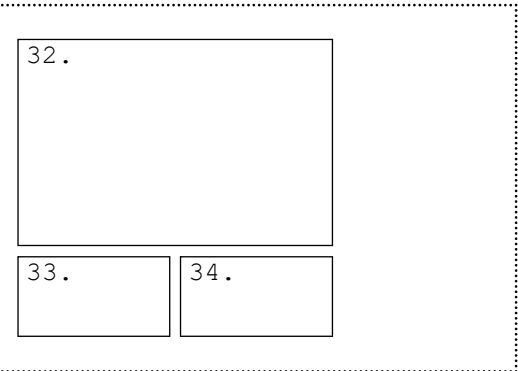
Otras edificaciones pertenecientes a la época del Aeródromo de Barberán y Collar son la capilla de la Virgen de Loreto, construida en 1953, y el hangar lineal, ambas carentes de uso en la actualidad.

Fotografías de la autora, 2019

Figura 32 *Facultad de biología y biología sanitaria*

Figura 33 *Taller de vidrio*

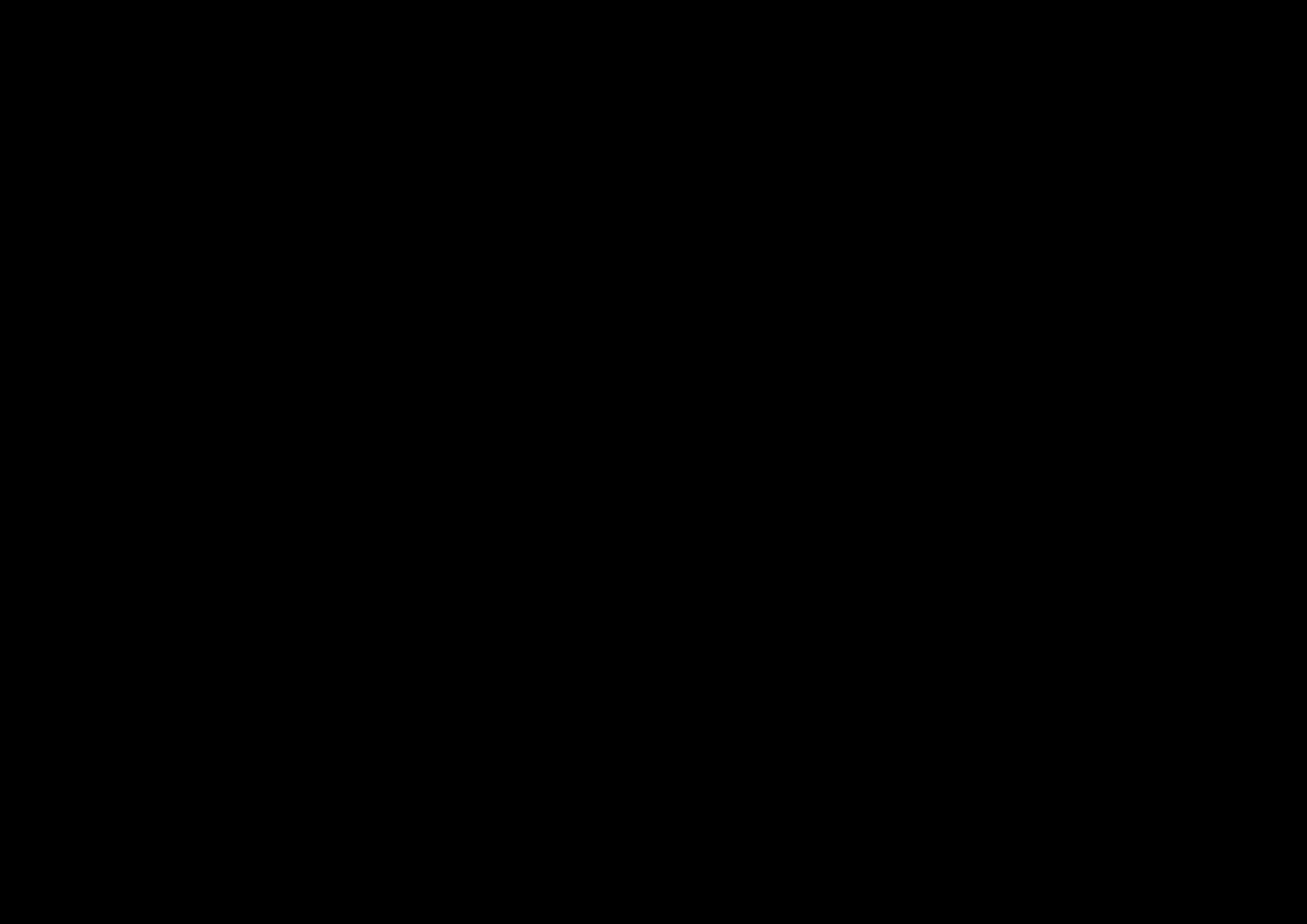
Figura 34 *Capilla abandonada*



iii. ortofotografías históricas

Figuras 35, 36 y 37 Imágenes elaboradas por la autora sobre fotografías originales

Ortofotografías originales:
 Instituto Geográfico Nacional, (1956-57, 1996-97, 2017). Disponible en: https://www.ign.es/web/comparador_pnoa/index.html [Consultado 04-11-2019]







2017

-cáscaras cilíndricas-

i. definiciones

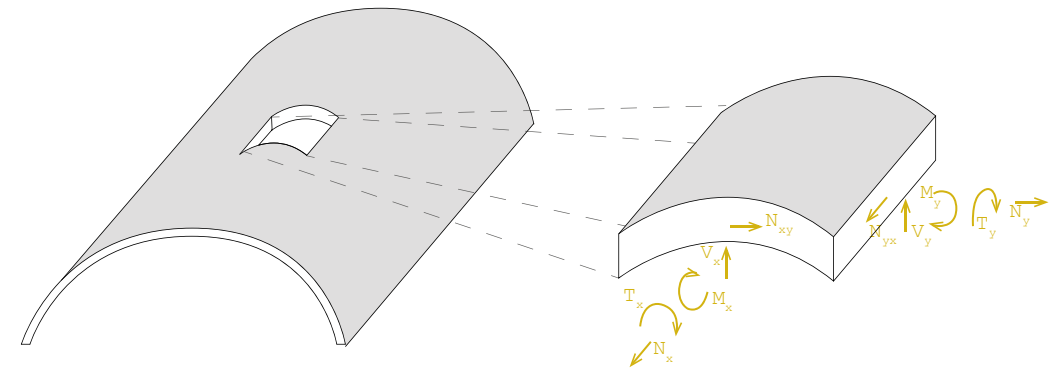
“Si por lámina entendemos cualquier elemento estructural que es superficial y posee curvatura, cabría hacer matizaciones respecto a su espesor.

Se suele entender como lámina aquellos elementos superficiales que poseen un radio de curvatura al menos diez veces mayor que el espesor de la misma, y que salvan distancias entre apoyos también al menos diez veces mayores que dicho espesor.” (Jurado, 1982 p.1)

Por tanto, dichas estructuras están sometidas generalmente a **cinco tipos de esfuerzos**: tangenciales (N_{xy} , N_{yx}), cortantes (V_x , V_y), momentos flectores (M_x , M_y), momentos torsores (T_x , T_y) y axiales (N_x , N_y).

En el caso de las **membranas**, son láminas cuyo espesor es despreciable respecto a su radio de curvatura y su luz. Es por ello por lo que se considera que los esfuerzos de torsión, flexión y cortantes no le afectan. (Jurado, 1982)

Elemento superficial



Figuras 38 Imagen elaborada por la autora

ii. cáscaras cilíndricas largas de hormigón armado

EVOLUCIÓN

Con su invención en el siglo XX, el hormigón armado se convierte en el digno competidor del acero dentro del campo de la construcción. Este nuevo material permite salvar grandes luces, por lo que prospera en los edificios utilitarios, tales como mercados, estaciones almacenes o hangares, hasta el momento realizados en estructuras de acero.

La primera cáscara cilíndrica larga de hormigón armado se construye en Alemania en 1924 para la fábrica de la compañía Zeiss. Tras la Primera Guerra Mundial, estas láminas se imponen como “tipologías estructurales capaces de cubrir grandes luces con un gasto mínimo de material” (Martínez, M., 2017) frente a su alternativa en acero.

En este contexto, “confluyeron dos condiciones claves que determinaron el origen del cálculo estructural de las cáscaras cilíndricas largas; por un lado, urgía establecer un método de cálculo debido al auge constructivo y, por otro, coincidió con un momento caracterizado por un significativo aprecio por las matemáticas.” (Martínez, M., 2017)

Los primeros cálculos matemáticos de las láminas de hor-

migón armado llevados a cabo por ingenieros como U.Finsterwalder y Fr. Dischinger o A. Aas Jakobsen, se desarrollaron a partir de los años 20. Sin embargo, éstos se presentaron muy complejos, lo que dificultaba su aplicación práctica. Se basaban en la Teoría Elástica, lo que implicaba utilizar una serie de hipótesis irreales: se debían suponer ciertos aspectos de la estructura imposibles de conocer de antemano, además de considerar el uso de un material ideal, homogéneo e isótopo, lo cual descartaba el uso del hormigón armado. El cálculo llevaba consigo la resolución de ecuaciones diferenciales de octavo orden, lo que dificultaba aún más el proceso para concebir una estructura cuyo comportamiento final no correspondía con los resultados obtenidos en los ensayos.

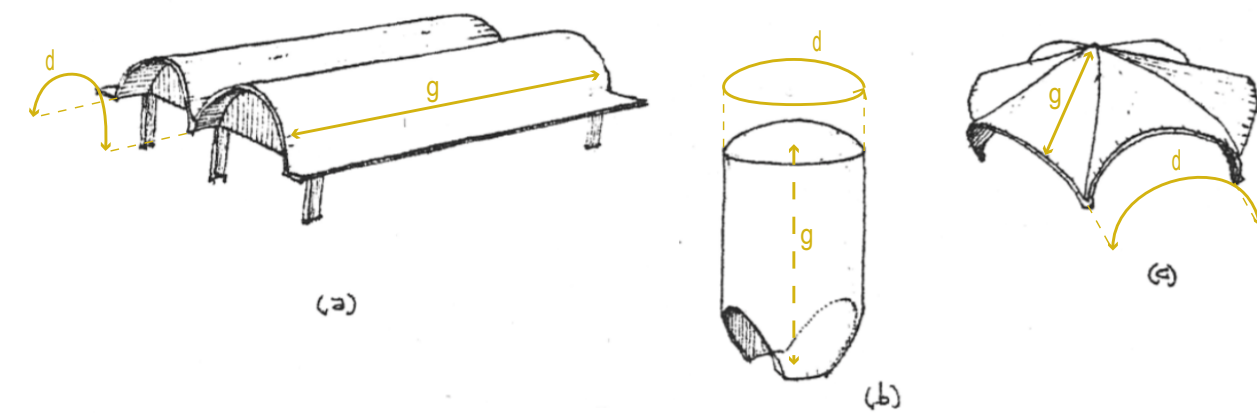
Inicialmente las cáscaras cilíndricas partieron de métodos procedentes de las cúpulas esféricas, así como el Planetario de Jena (Alemania) construido en 1926. Progresivamente se fueron implantando las cáscaras cilíndricas largas. Un ejemplo claro es el mercado de Frankfurt levantado en 1928. No obstante, a pesar de que Alemania había sido la cuna de las bóvedas laminares, en España también aparecieron célebres ejemplos de láminas de hormigón armado, como el mercado

Cuando se habla de **cascarones**, se habla concretamente de **estructuras de hormigón armado que soportan esfuerzos de membrana**. Trata por tanto de láminas con un espesor del orden de 3 a 10 centímetros.

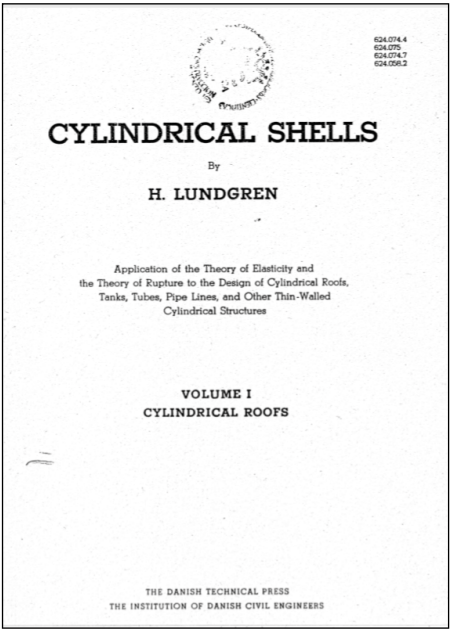
Según Tonda (1973-1974), mientras más se trate de preservar la forma de una estructura sin reparar en su modo de trabajar, más cerca se estará de la flexión pura y por tanto más cantidad de material requerirá para su ejecución. Es por esta razón por la que estableció una clasificación de cáscaras atendiendo a su forma:

- a. PLANAS:
 - i. prismáticas
 - ii. poliédricas
- b. CURVAS:
 - i. curvatura simple:
 - cónicas
 - cilíndricas · largas
 - cortas
 - ii. doble curvatura:
 - sinclásticas
 - anticlásticas

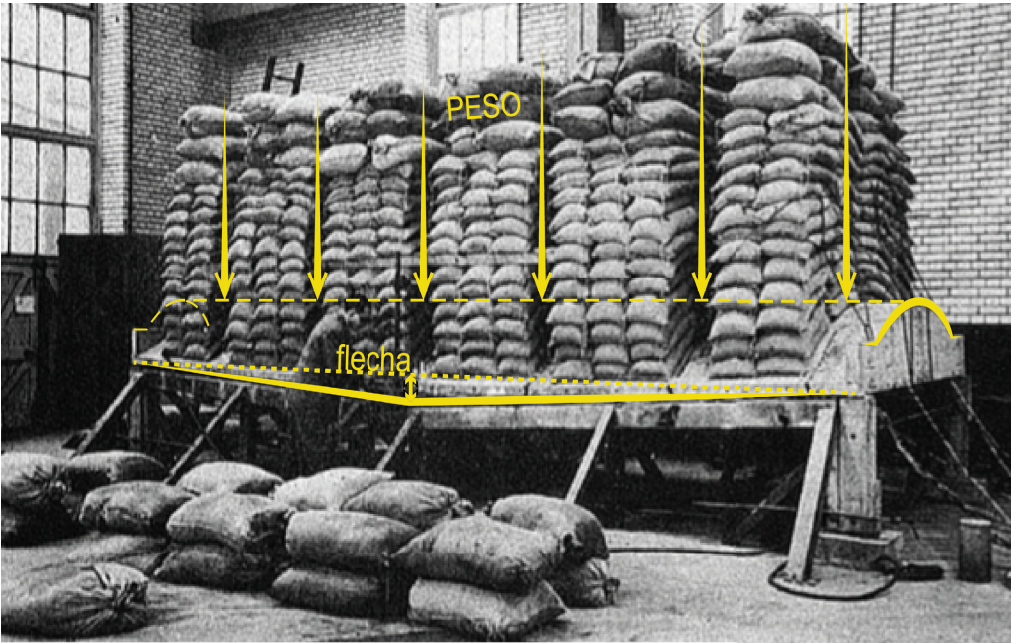
No obstante, el presente trabajo se centra únicamente en las cáscaras cilíndricas largas.



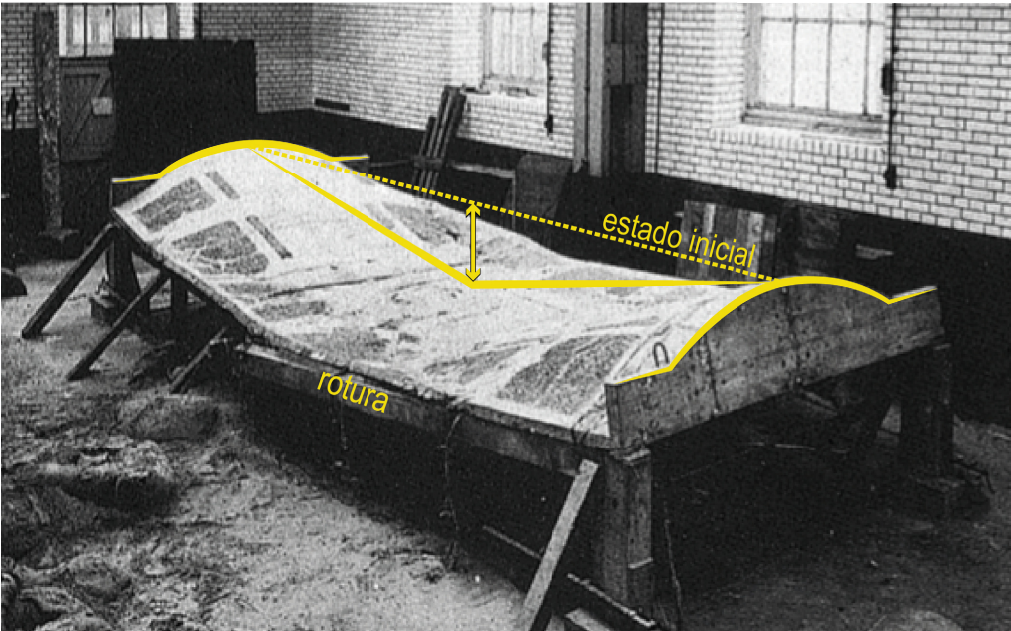
Cáscaras cilíndricas
Figuras 39 Imagen elaborada por la autora sobre imagen base:
J.A.. Tonda (1973) Figura 10 [imagen]. México: IMCYC



Figuras 40
Lundgren H. (1949).
Cylindrical Shells.
Volumen I Cylindrical
Roofs. The Danish
Technical Press the
Institution of Danish
Civil Engineers



Figuras 41 Imagen elaborada por la autora sobre fotografía base:
P.B. Morice (1952) *Puesta en carga de un modelo de cáscara* [fotografía]. México: Instituto Juan de Herrera.



Figuras 42 Imagen elaborada por la autora sobre fotografía base:
P.B. Morice (1952) *Efecto rotura de la puesta en carga de un modelo de cáscara cilíndrica larga* [fotografía]. México: Instituto Juan de Herrera.

de Algeciras (1933), el graderío del Hipódromo de la Zarzuela (1936) o el antiguo frontón de Recoletos (1935), todos ellos trabajos del ingeniero Eduardo Torroja.

En 1944 se publica un importante artículo donde se calculaba por primera vez el comportamiento de una cáscara cilíndrica larga real. Como aportación, su autor, el ingeniero **Knud Winstrup Johansen, proponía como base teórica para el cálculo estructural la teoría plástica** en vez de la elástica aplicada hasta el momento.

Años más tarde, en 1949, el ingeniero **Hegel Lundgren** publica para *The Danish Technical Press* un volumen en el que desarrolla un caso práctico de cáscara cilíndrica: *Cylindrical Shells*. En él **emplea el método de la viga**, el cual compara el comportamiento de una lámina cilíndrica larga de hormigón armado al de una viga del mismo material.

En el panorama nacional, esta metodología, que sigue vigente en la actualidad, fue continuada por el arquitecto Félix Candela y su asociado, Juan Antonio Tonda, quien en 1973 la pone por escrito en su libro *Cascarones de Concreto*, el cual ha servido de guía para el cálculo estructural del presente trabajo.

Imágenes de la autora sobre fotografías originales

Fotografías base:

Figura 43
Construcción de láminas cilíndricas largas para cubierta
Fr. Dischinger y U. Finsterwalder (1926) *“Die Dywidag-Halle auf der Gesolei”* [fotografía]. Alemania: Der Bauingenieur 7, figura 3, pp. 929, 930.

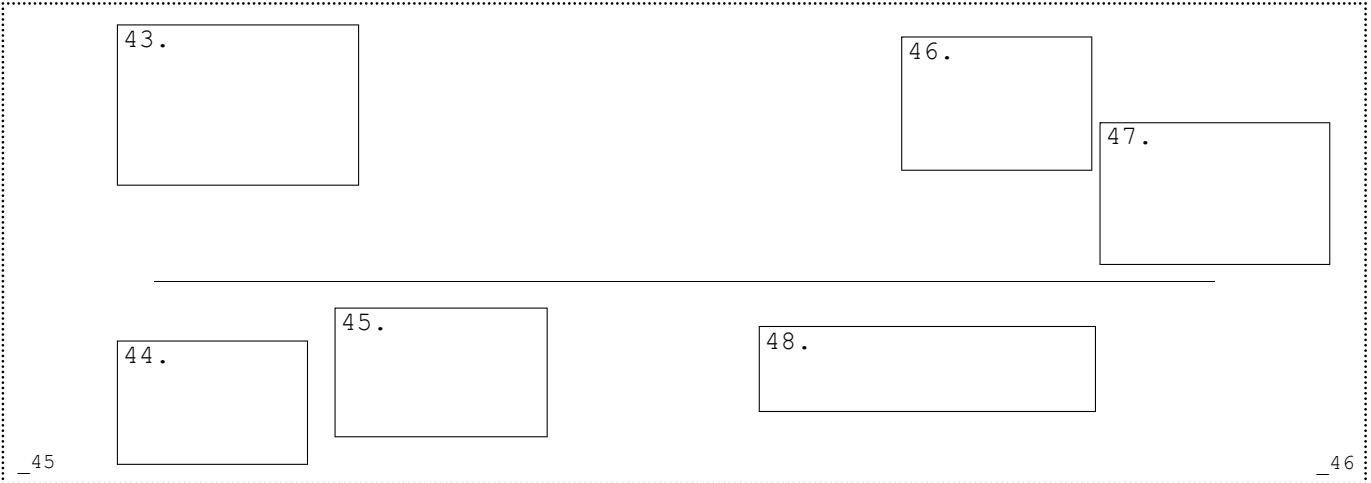
Figura 44
Antiguo frontón de Recoletos
D.R. (Año desconocido) *El interior del frontón Recoletos y su doble bóveda flotante*. Disponible en: <https://www.revistaad.es/arquitectura/articulos/los-frontones-de-zua-zo/18206> [Consultado el 24.02.2020]

Figura 45
Mercado de Algeciras
Anónimo (1998) Disponible en: <http://torrojaingenieria.es/HTML/TrabDetalle.php?Proyecto=142&texto1=Ver%20en%20el%20mapa&lang=enRafael> [Consultado el 23.03.2020]

Figura 46
Almacén de Pisa
Martínez Martínez, (2018) *Vista interior del Almacén Pisa, San Bartolo, Estado de México, México 1951* [fotografía] Informes de la Construcción, vol. 70, no. 551, pp. e260.

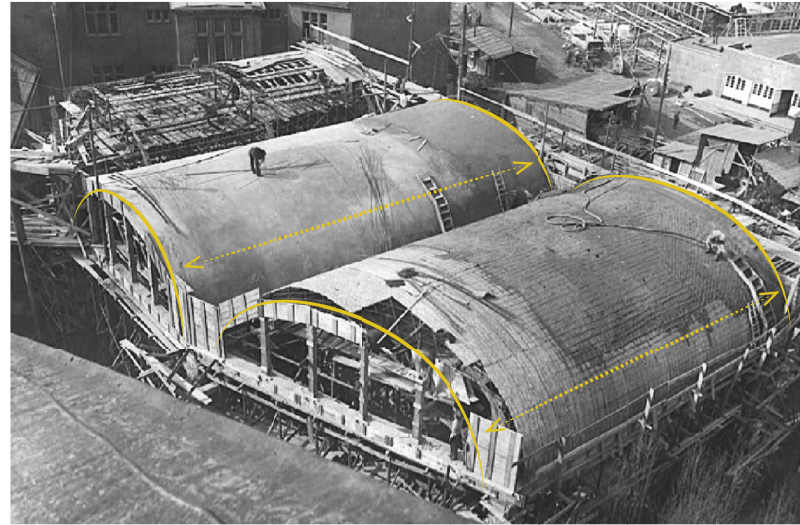
Figura 47
Almacenes de Aduanas de Pantaco
Anónimo (Año desconocido) Disponible en: <https://unavidamoderna.tumblr.com/image/83133124957> [Consultado el 23.03.2020]

Figura 48
Hangar lineal del Antiguo Aeródromo
Dibujo de la autora





_panorama internacional



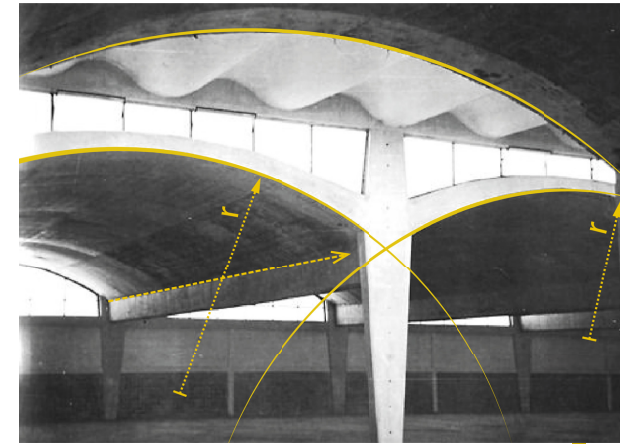
1922
Planetario de Jena:
cúpula semiesférica
(Alemania)
DYCKERHOFF & WIDMANN

1924
Primera cáscara cilíndrica:
fábrica de Zeiss
(Jena, Alemania)
DYCKERHOFF & WIDMANN

1928
Grossmarkthalle
(Frankfurt, Alemania)
DYCKERHOFF & WIDMANN

1908
T. moderna de la membrana
(Alemania)
H. REISSNER y F.E. EMPERGER

I Guerra Mundial

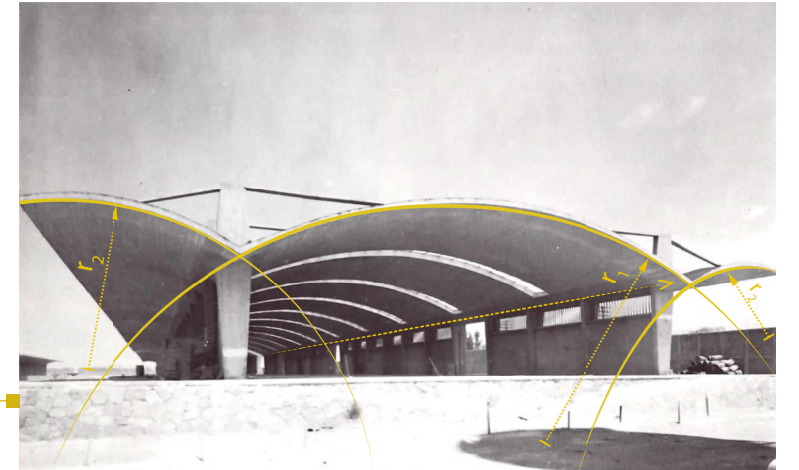


1944
*Aplicación de la
teoría plástica*
(Dinamarca)
K.W. JOHANSEN

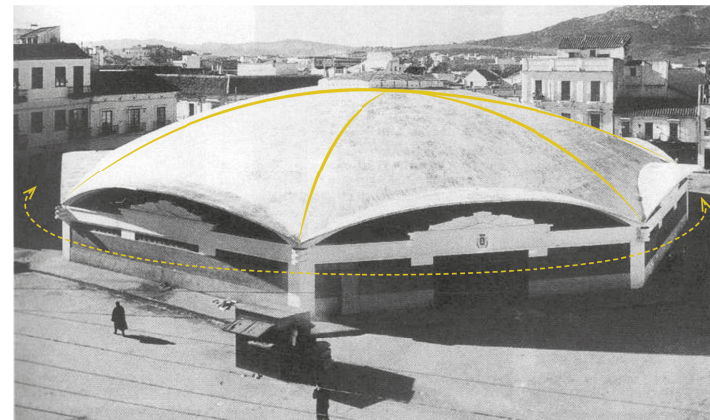
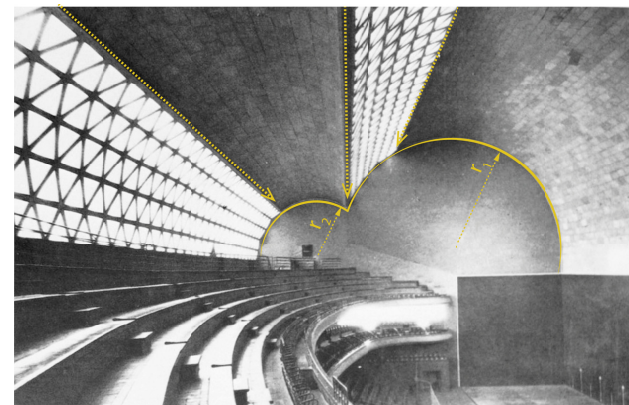
1949
Cylindrical Shells
(Dinamarca)
H. LUNDGREN

1951
Almacén de Pisa
(México)
F. CANDELA

1952
Almacenes de Aduanas de
Pantaco
(México)
F. CANDELA



_panorama nacional



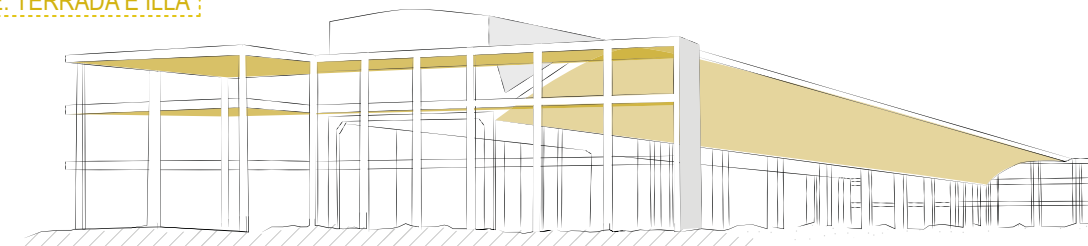
1936
Hipódromo de la
Zarzuela
(Madrid)
E. TORROJA

1935
Frontón de Recoletos
(Madrid)
E. TORROJA

1933
Mercado de Abastos
(Algeciras)
E. TORROJA

Guerra Civil

1943
Hangar lineal
(Alcalá de Henares)
E. TERRADA E ILLA



1973
*Cascarones de
concreto*
J.A. TONDA

*Guía de cálculo empleado
en el presente trabajo

vii.

-antiguo hangar lineal -
del aeródromo Barberán y Collar

Situado en el actual campus tecnológico de la UAH, este hangar fue diseñado con el propósito de cobijar las aeronaves para la instrucción de la Academia General del Aire. Sin embargo, con el traslado de la AGA a Murcia, el edificio quedó inacabado y sin uso definido.

A pesar de que solo **se llegara a construir en 1943** un único hangar, se tiene constancia gracias a diferentes archivos de la época que el hangar pertenecía proyectualmente a un conjunto mayor formado por seis hangares similares en total, distribuidos en dos grupos de a tres.

El proyecto pertenece a **Esteban Terradas (1883-1950)**, aunque en un principio se le llegó a atribuir a su coetáneo Eduardo Torroja (1899-1961).

Puesto que no llegó a utilizarse para su fin, se empleó para realizar maniobras militares de orden cerrado. Con la instauración del campus universitario en los alrededores, el hangar quedó desprovisto de uso y **totalmente abandonado**. Se propusieron diversos proyectos para transformar el hangar en invernadero como parte del Jardín Botánico Carlos I, pero nunca se llevaron a cabo.

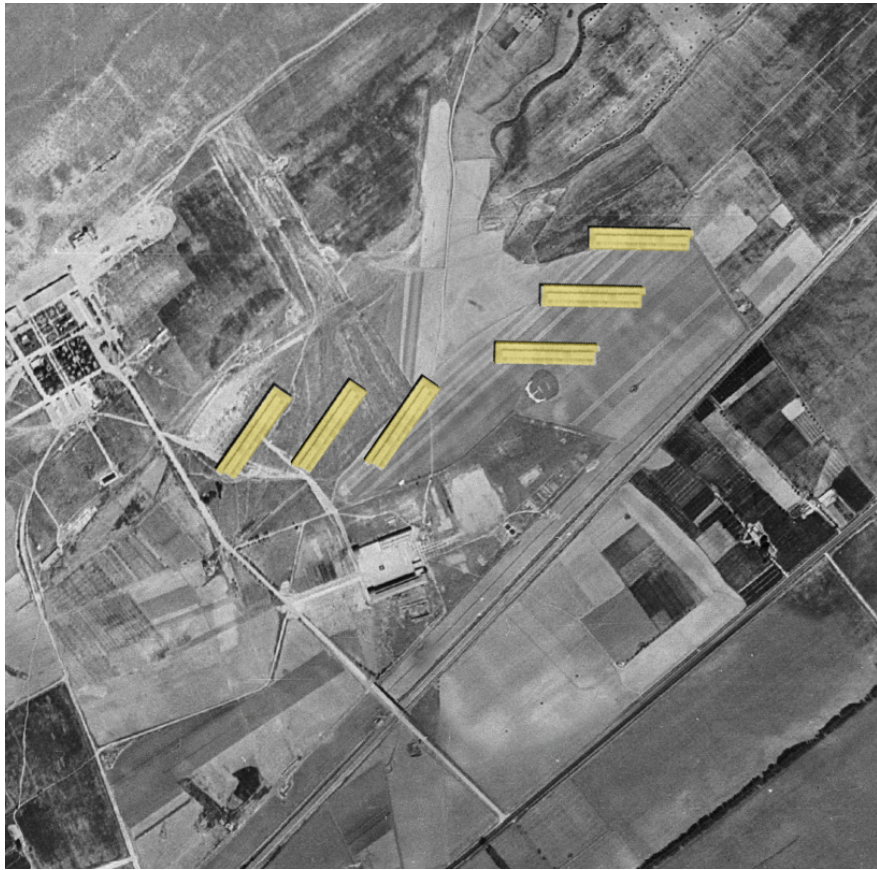
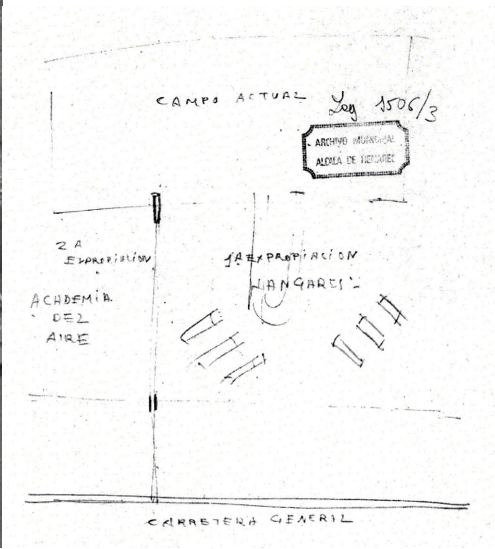


Figura 49 Recreación de los seis hangares
Elaboración propia (2020) [imagen]
Ortofotografía base:
Instituto Geográfico Nacional (1956)

Figura 50 Croquis con la disposición
de los seis hangares
[imagen] AMAH, Legajo 1506/3.



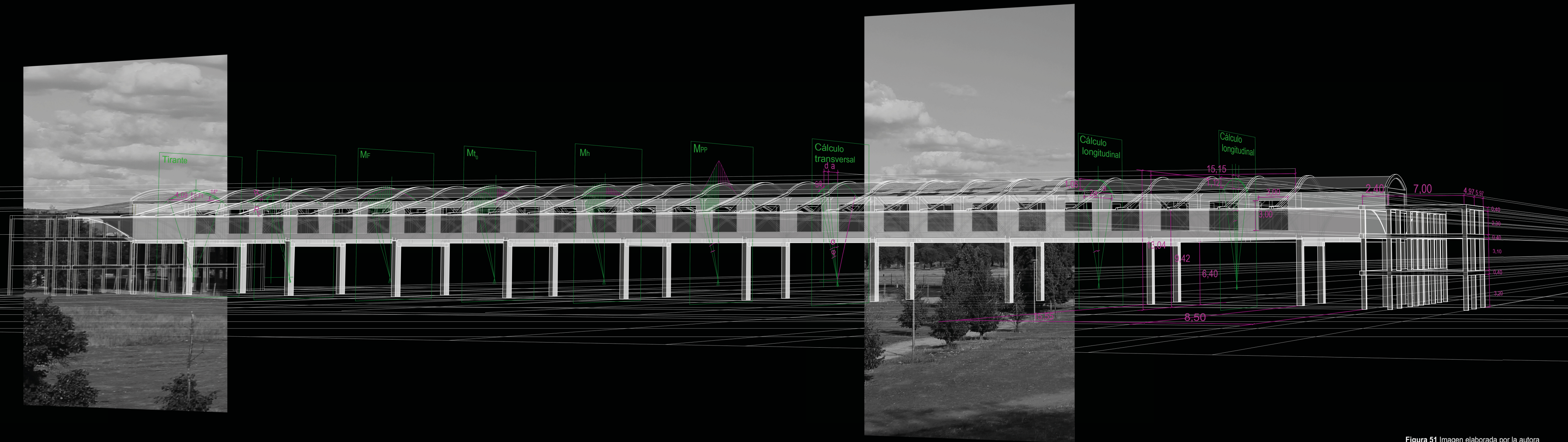


Figura 51 Imagen elaborada por la autora

i. planimetría

- 7.1.1 Plano de situación y secciones del terreno
- 7.1.2 Planta primer nivel y sección longitudinal
- 7.1.3 Planta segundo nivel y alzado 12º
- 7.1.4 Planta de cubiertas y alzado noroeste
- 7.1.5 Alzados suroeste y nordeste y sección transversal

más tarde de Barcelona. Participó activamente en numerosos proyectos de divulgación científica, además de adoptar diversos puestos simultáneamente en distintas instituciones. Entre los temas que más le interesaron están las matemáticas, la astronomía y la aerotécnica.

En 1927 participó como representante de la Universidad en la Asamblea Nacional de Primo de Rivera que creó con la intención de suprimir las Cortes. Es por ello por lo que con la instauración de la Segunda República en 1931 Esteban Terradas comenzó a tener importantes problemas profesionales.

Debido al estallido de la Guerra Civil, Terradas se vio obligado a abandonar a finales de 1936 su país natal rumbo a Argentina. Allí continuó su labor como docente, destacada en el área de la aerotécnica, incluso llegó a colaborar en el proyecto de un aeropuerto terrestre y marítimo para la capital argentina.

En 1941, el ministro del Aire español, por aquel entonces el general Juan Vigón, hizo un llamamiento al ingeniero barcelonés para que regresara a España. A su vuelta, **se fundó el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), del cual se nombró a Esteban Terradas primer presidente**, y que tras su muerte fue renombrado para incluir su nombre.

Es en este contexto donde se aprueba el proyecto para la instauración de la A.G.A. en la ciudad de Alcalá de Henares. Como miembro del INTA, Esteban Terradas se encarga de la proyección del conjunto de los seis hangares lineales, objeto de análisis del presente trabajo.

Entre sus logros a su vuelta a España, cabe mencionar que en 1943 obtuvo el sillón de la letra “g” en la Real Academia Española.

Finalmente, **en 1950 fallece en la capital española.**

Los propios estudiantes de la universidad se adueñaban de la estructura del hormigón para celebrar las fiestas de los patrones de las facultades, convirtiéndose en un verdadero “*botellódromo*”. Sin embargo, debido al gran deterioro por la falta de mantenimiento y el vandalismo, la universidad se ha visto obligada a cerrar el paso por las inmediaciones del hangar.

CONFIGURACIÓN

El edificio está formado por **tres bloques** bien diferenciados. El **bloque central** (157 m x 10 m sin contar la cubierta) es el propio hangar y toda su **estructura es enteramente de hormigón armado**. Ésta se cubre con una **cáscara cilíndrica que conforma la cubierta**. A ambos lados se proyectan otras **dos cubiertas laminares colgadas** por los extremos de unos tirantes que cruzan la lámina central. El peso de la cubierta apoya en **dos vigas de celosía** que recorren en sentido longitudinal toda la construcción y que descargan a su vez sobre pilares distribuidos en **doce pórticos**.

En cuanto a los **bloques laterales**, son de menor tamaño (9,6 x 36 m). Se trata de dos **estructuras adinteladas de tres niveles de altura** cada una unidas al cuerpo principal.

ESTEBAN TERRADAS E ILLA

Fue un **científico e ingeniero español** nacido en Barcelona en **1883**. Entre los rasgos más sobresalientes destacan su gran intelecto y, acompañándole, su pasión por el conocimiento. En definitiva, Esteban Terradas fue una persona de brillante currículum. Consiguió graduarse en Ciencias con el Premio Extraordinario, realizó dos tesis el mismo año, una en Física y otra en Matemáticas con tan solo 22 años. Años más tarde consiguió el título de ingeniero industrial y de ingeniero de Caminos, carrera que realizó en dos años. Fue catedrático en la Universidad de Zaragoza con tan solo 23 años y un año

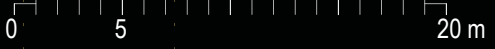
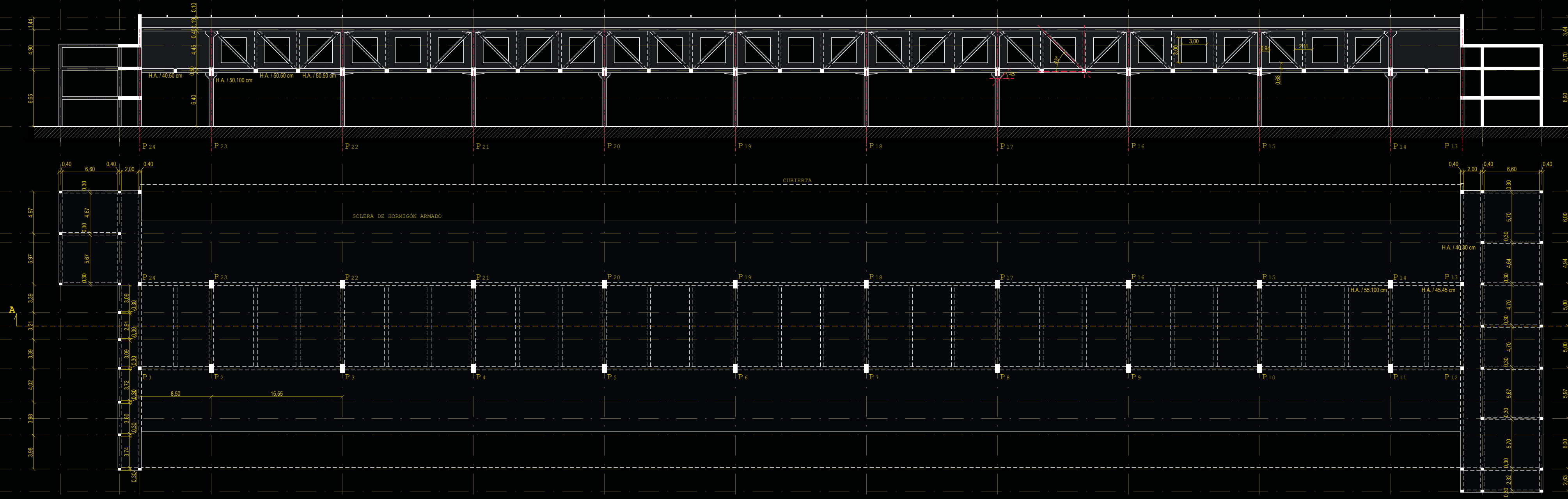


Figura 52 Imagen modificada
Rey Pastor, J. (1933) *Contestación* [fotografía] Madrid: Contributions to science.



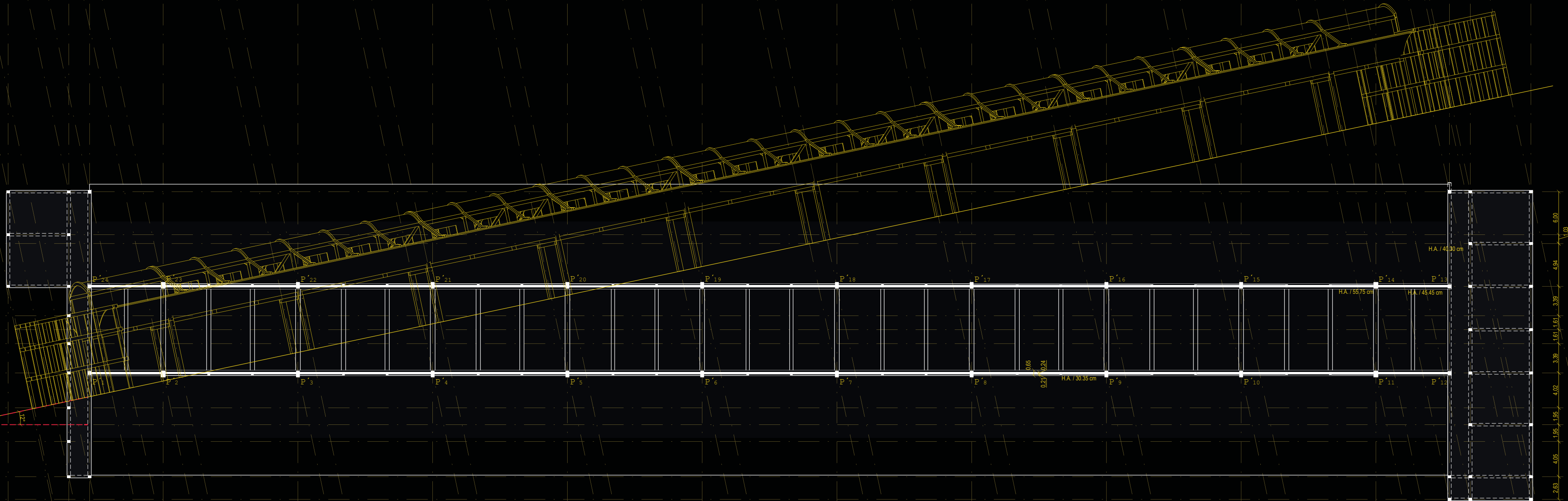
AA'

primer nivel



_alzado 12º

_segundo nivel



H.A. / 40.00 cm

H.A. / 55.75 cm

H.A. / 45.45 cm

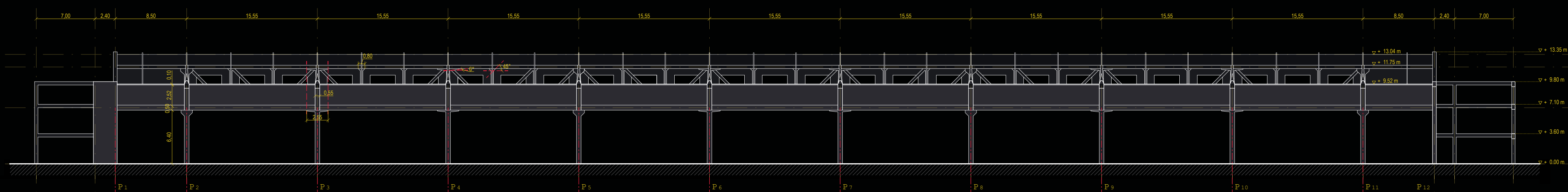
H.A. / 30.35 cm

0.21 / 0.24

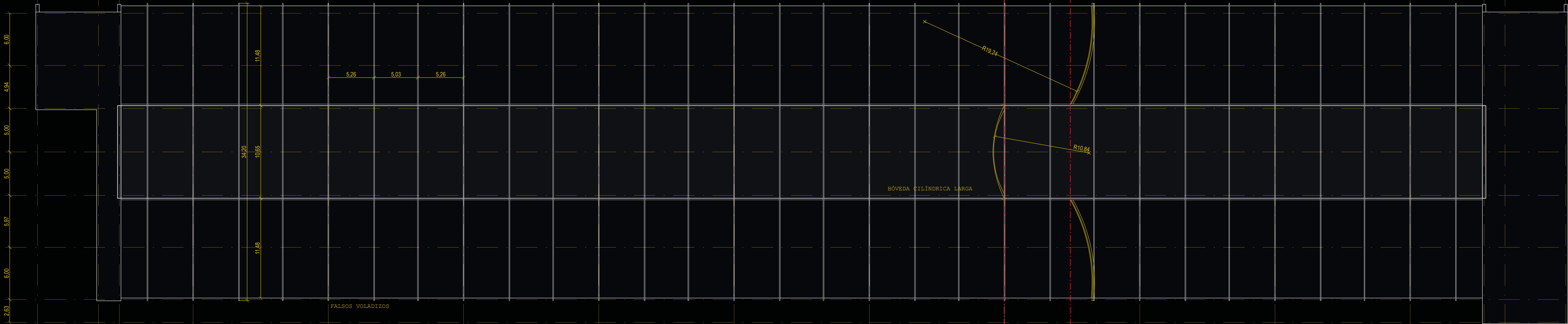
0.65



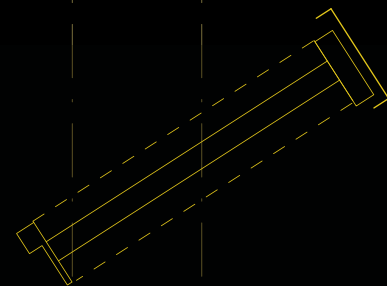
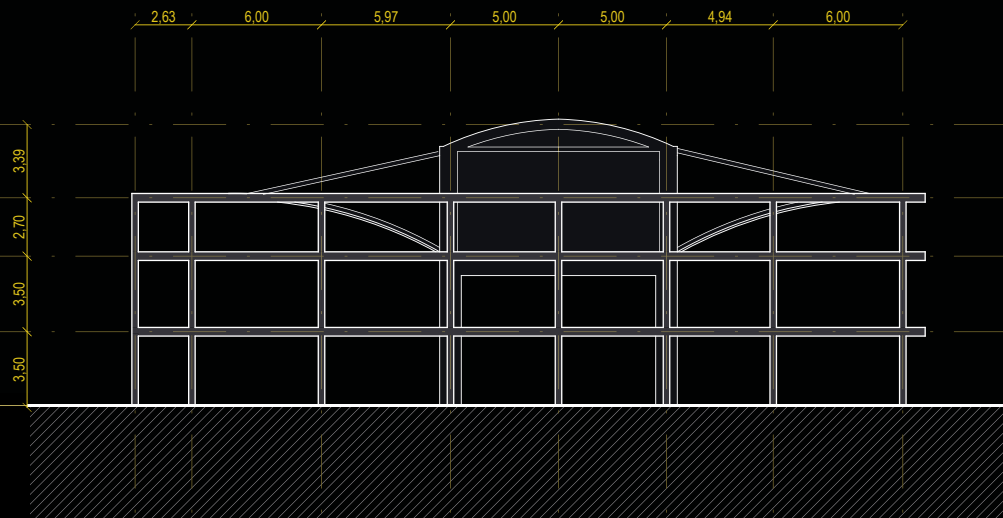
_alzado sureste



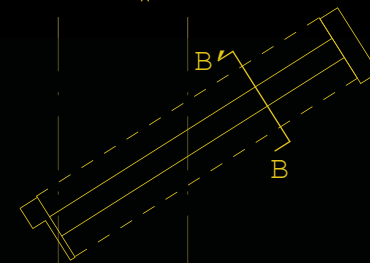
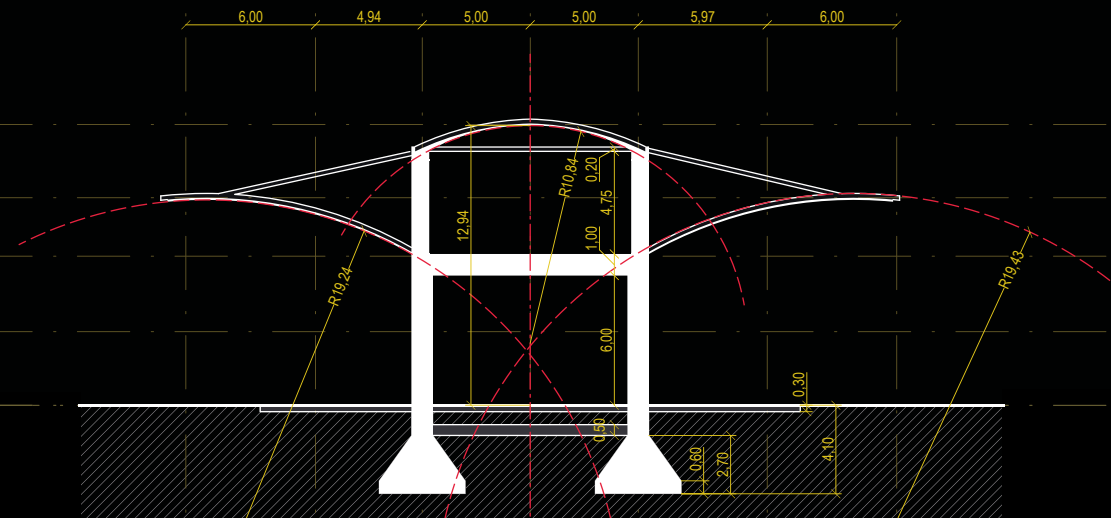
_planta de cubiertas



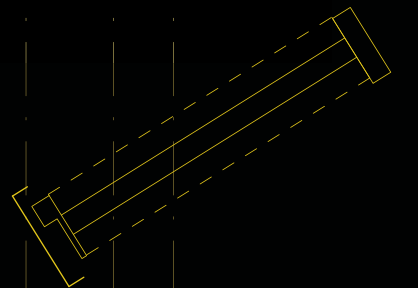
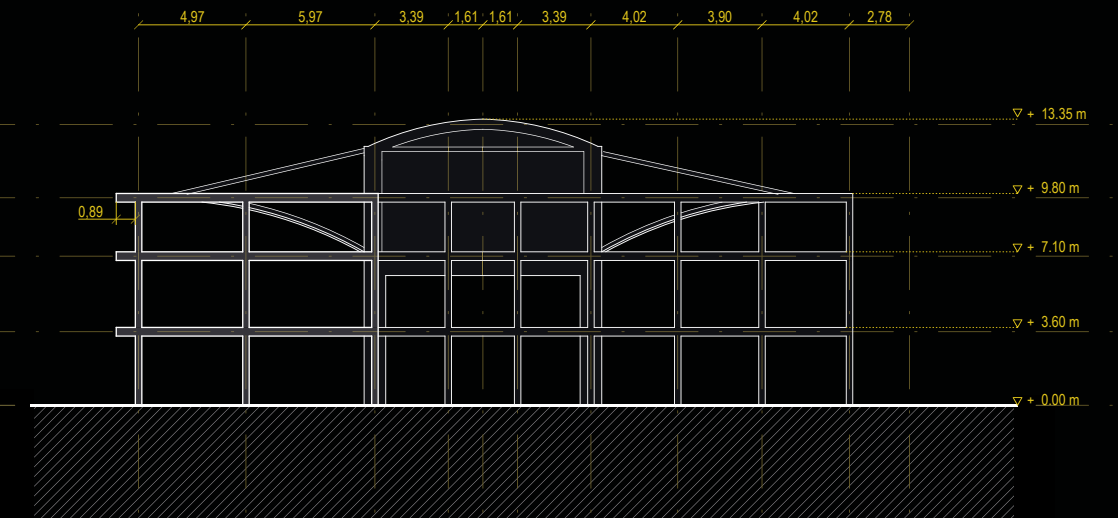
_alzado nordeste



_sección BB'



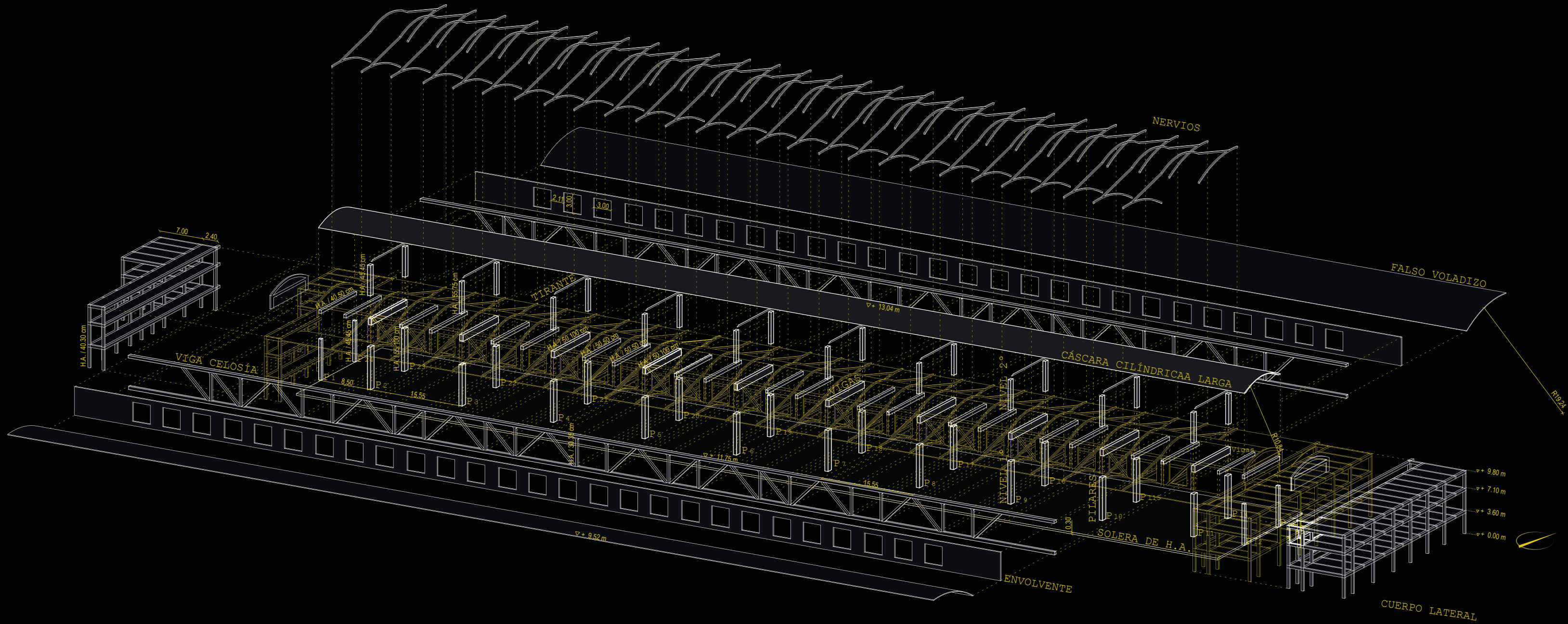
_sección sudoeste



ii. análisis estructural

- 7.2.1 Perspectiva explotada
- 7.2.2 Cálculo longitudinal
- 7.2.3 Cálculo transversal
- 7.2.4 Esfuerzo cortante y cálculo de tirantes
- 7.2.5 Desarrollo del armado de la cáscara cilíndrica

_perspectiva explotada



Cálculos de referencia: tabla 7.1

Cálculo Longitudinal

Radio de cálculo	$r = \frac{a^2 + f^2}{2f} = \frac{(4,81\text{ m})^2 + (1,12\text{ m})^2}{2 \cdot 1,12\text{ m}} = 10,89\text{ m}$ <p>* El radio de la curvatura real del hangar, medido en planges de 10,84m por lo que será utilizado para cálculos futuros.</p>	
Ángulo α	$\text{sen } \alpha = \frac{2f \cdot a}{a^2 + f^2} = \frac{2 \cdot (1,12\text{ m}) \cdot 4,81\text{ m}}{(4,81\text{ m})^2 + (1,12\text{ m})^2} = 0,4417$ $[\alpha = 26,22^\circ = 0,4575\text{ rad}]$	
Densidad del HA	$\rho_{HA} = 2400\text{ kg/m}^3$	Espeor $e = 10\text{ cm}$
Peso HA	peso HA $w = \rho \cdot e = 2400\text{ kg/m}^3 \cdot 0,1\text{ m} = 240\text{ kg/m}^2$	
Peso cáscara	$w_b = 2w \cdot r = 2 \cdot 240\text{ kg/m}^2 \cdot 0,4575 \cdot 10,84\text{ m} = 2380,69\text{ kg/m}$	
Momento Flexionante Total	$M_{\text{flex. T}} = \frac{w_b \cdot L^2}{8} = \frac{2380,69\text{ kg/m} \cdot (15,55\text{ m})^2}{8} = 71957,13\text{ kg} \cdot \text{m}$ $[M_{\text{flex. T}} = 71957,13\text{ kg} \cdot \text{m}]$	
Desarrollo de la bóveda	$S_b = 2\alpha \cdot r = 2 \cdot 0,4575 \cdot 10,84\text{ m} = 9,9195\text{ m}$	
Zona de compresión	$S_c = \frac{S_b}{4} = \frac{9,9195\text{ m}}{4} = 2,4799\text{ m}$ $\beta = \frac{S_c}{2r} = \frac{2,4799\text{ m}}{2 \cdot 10,84\text{ m}} = 0,1144\text{ rad}$	
		Distancia al centro de gravedad CG
		Brato de palanca
		Fuerzas internas de Tracción y Compresión
		Esfuerzo unitario
		Área del acero

$$CG = r \cdot (1 - \frac{\text{sen } \beta}{\beta}) = 10,84\text{ m} \cdot (1 - \frac{0,1144}{0,444}) = 0,0236\text{ m}$$
$$[Z = f - CG - 0,05\text{ m} = 1,12\text{ m} - 0,02\text{ m} - 0,05\text{ m} = 1,0464\text{ m}]$$
$$C = T \quad F_c = F_T = \frac{M}{Z} = \frac{71957\text{ kg} \cdot \text{m}}{1,0464\text{ m}} = 68767,90\text{ kg}$$
$$\sigma_b = \frac{F}{S_c \cdot e} = \frac{68768}{247,99\text{ cm} \cdot 10\text{ cm}} = \frac{68768\text{ kg}}{2479,99\text{ cm}^2} = 27,7303\text{ kg/cm}^2 \quad \checkmark$$

* Se debe cumplir $\sigma_b < 0,3 f'c$

$$\text{para HA} \quad f'c = 2,5\text{ kN/cm}^2 = 255\text{ kg/cm}^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_b < 0,3 \cdot 255\text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_b < 76,5\text{ kg/cm}^2 \end{array} \right. \checkmark$$
$$0,3 f'c = 76,5\text{ kg/cm}^2$$

$$F_c = \frac{F_T}{\sigma_{c*}} = \frac{68768\text{ kg}}{2750\text{ kg/cm}^2} = 25,01\text{ cm}^2 \Rightarrow \text{Armadura en los centros de tracción } 3\phi 25 + 4\phi 20 (27,30\text{ cm}^2)$$

- cálculo longitudinal -

Tabla 7.1 Hoja de cálculo elaborada por la autora

tabla 7.1					
	MED.	RESULTADO	PENDIENTES		FUNCIÓN
Radio de cálculo	m	R	a	f	$R=(a^2+f^2)/2f$
		10,88861601	4,81	1,12	10,88861607
	-	sen α	a	f	$2fa/(a^2+f^2)$
		0,4417458	4,81	1,12	0,441745762
	°	α	sen α		arcsen α
rad		26,215321	0,4417		26,21532075
		α			α=rad
		0,4575437			0,457543662
peso HA	kg/m²	w	dad (kgpesor (m)		w=d·e
		240	2400	0,1	240
peso cáscara	kg/ml	wb	w	α	R
		2380,6912	240	0,4575	10,84
Mflx Total	kg·m	M	wb	L	$M=wb·L^2/8$
		71957,135	2380,7	15,55	71957,13487
Desarrollo de la bóveda	m	Sb	α	R	$Sb=2αR$
		9,9195466	0,4575	10,84	9,919546582
Zona de compresión	m	Sc	Sb		$Sc=Sb/4$
		2,4798866	9,9195		2,479886646
	rad	β	Sc	R	$β=Sc/2R$
Distancia CG		0,1143859	2,4799	10,84	0,114385915
		CG	R	sen β	β
		0,0236232	10,84	0,1141	0,1144
Brazo de palanca	m	Z	f	CG	$Z=f-CG-0.05m$
		1,0463768	1,12	0,0236	1,046376784
Fuerza de T y C	kg	C = T	M	Z	$C=T=M/Z$
		68767,901	71957	1,0464	68767,90076
Esfuerzo unitario	kg/cm²	σb	F	Sc	e
		27,73026	68768	247,99	10
Área del acero	cm²	Fe	T	σe	
		25,006509	68768	2750	

✓	σb<0,3 f'c	f'c	0,3 f'c
S=C=T	2.5 kN/cm²=255 kg/cm²		76,5 kg/cm²

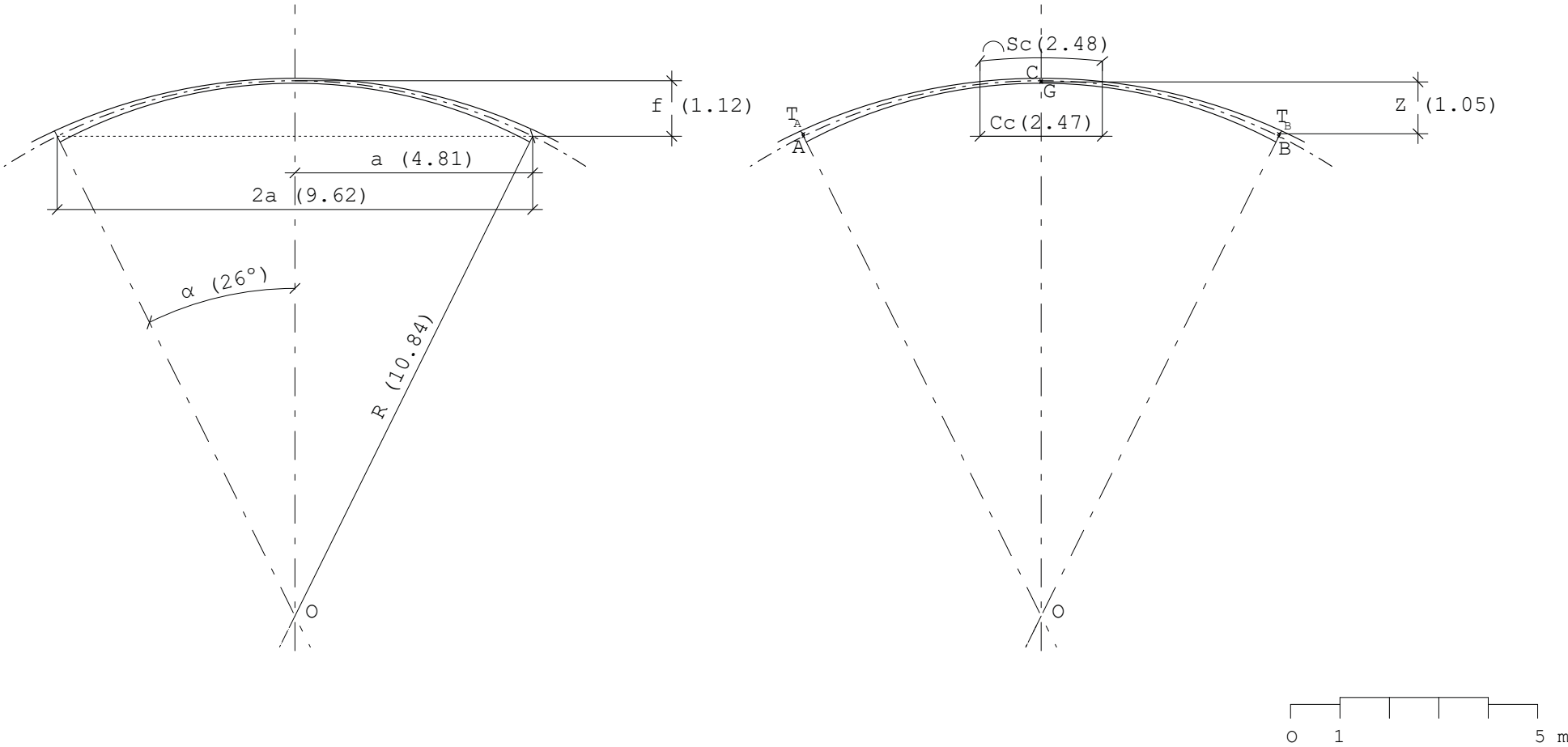


Figura 53 Figura elaborada por la autora.

CÁLCULO TRANSVERSAL

Esfuerzo cortante $t_c = \frac{w_b}{2Z} = \frac{2380,69 \text{ kg}}{2 \cdot 1,05 \text{ m}} = 1137,5879 \text{ kg/m}$

(tabla 7.2.1) Momentos debidos al peso propio $M_{py} = -w \cdot r^2 [\cos \alpha - \psi - \psi \cdot \sin(\alpha - \psi)] \text{ (kg} \cdot \text{m)}$

(tabla 7.2.2) Momentos debidos a los esfuerzos tangenciales $M_{ty} = t_c \cdot r^2 [\psi - \sin \psi] \text{ (kg} \cdot \text{m)}$

(tabla 7.2.3) Momentos debidos a una fuerza horizontal H_0 $M_{Hy} = r \cdot H_0 [\cos(\alpha - \psi) - \cos \alpha] \text{ (kg} \cdot \text{m)}$

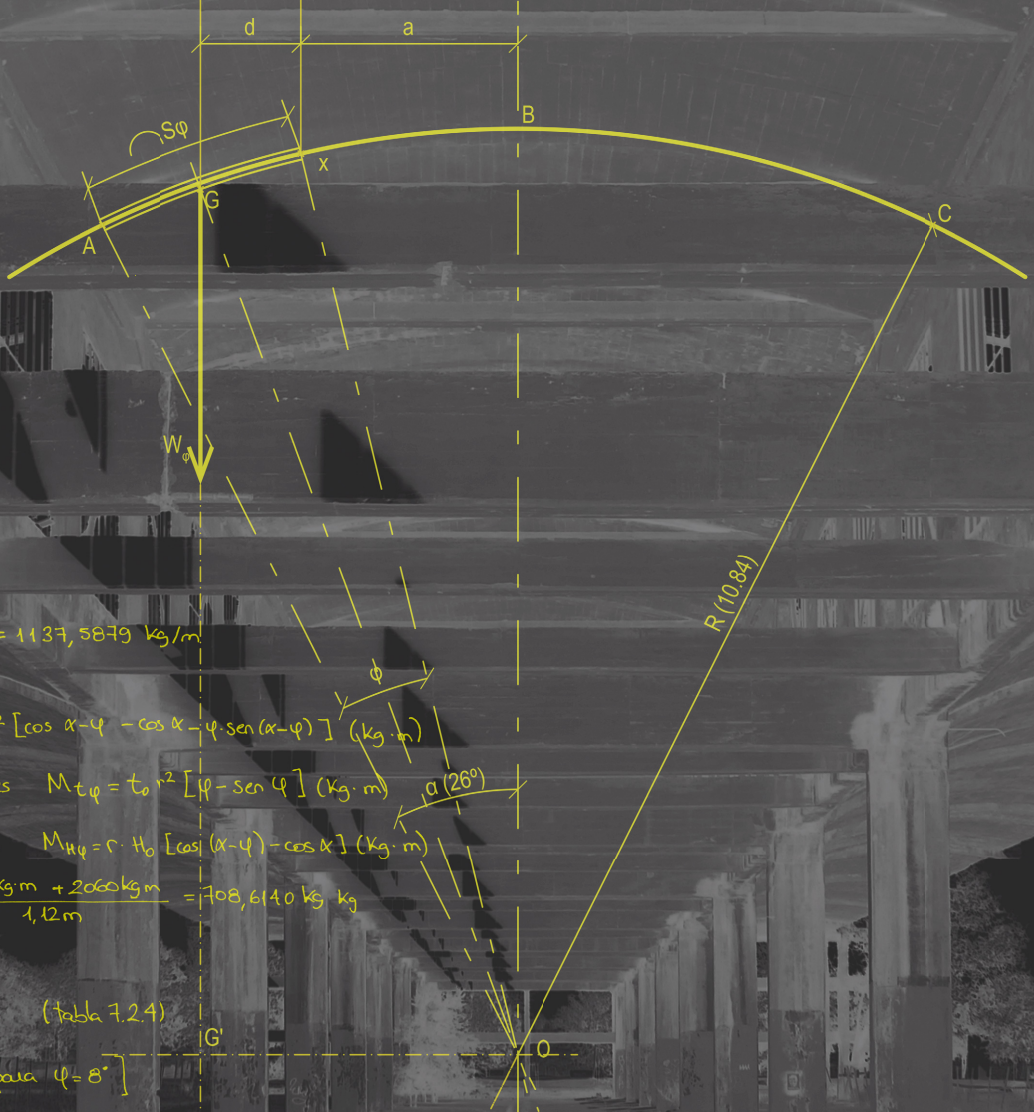
↳ siendo $H_0 = (M_{p26^\circ} + M_{t26^\circ}) / l = \frac{2854 \text{ kg} \cdot \text{m} + 2060 \text{ kg} \cdot \text{m}}{1,12 \text{ m}} = 708,6140 \text{ kg} \cdot \text{kg}$

Momentos finales $M_{fy} = M_{py} + M_{ty} + M_{Hy} \text{ (tabla 7.2.4)}$

↳ según tabla $[M_{fmax} = 204,9625 \text{ kg} \cdot \text{m} \text{ para } \psi = 8^\circ]$

Esfuerzo normal máximo $N = \frac{M_{fmax}}{m} = 204,9625 \text{ kg}$

Área del acero $A_e = \frac{N}{\sigma_e} = \frac{204,96 \text{ kg}}{2750 \text{ kg/cm}^2} = 0,0745 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{Armado transversal } 1 \phi 6 (0,28 \text{ cm}^2) / 30 \text{ cm}$



- cálculo transversal -

Tabla 7.2 Hoja de cálculo elaborada por la autora

CÁLCULO TRANSVERSAL						tabla 7.2	
	MED.	RESULTADO	INDEPENDIENTES		FUNCIÓN	Anotaciones	
		t ₀	w _b	Z	$t_0 = w_b / 2Z$		
Esfuerzo cortante	kg/m	1137,58792	2380,69	1,04638	1137,58792		
		M _{pφ}					
Momentos debido al P _p	kg·m				TABLA 7.2.1*		
		M _{tφ}					
Momentos Esf. T _g	kg·m				TABLA 7.2.2*		
		H _B	M _{p26°}	M _{t26°}	f	$H_B = (M_{p26°} + M_{t26°}) / f$	
Fuerza H en B	kg	708,614042	-2854,1	2060,5	1,12	708,614042	En valor absoluto
		M _{fφ}					
Momentos finales	kg·m				TABLA 7.2.4*		
		F _e	M _{fφ}	σ _e		$F_e = M_f / \sigma_e$	N= M f max / m
Área del acero	cm²	0,07453183	204,963	2750	0,074531828	1 ø6 (0,28 cm²) cada 30 cm	

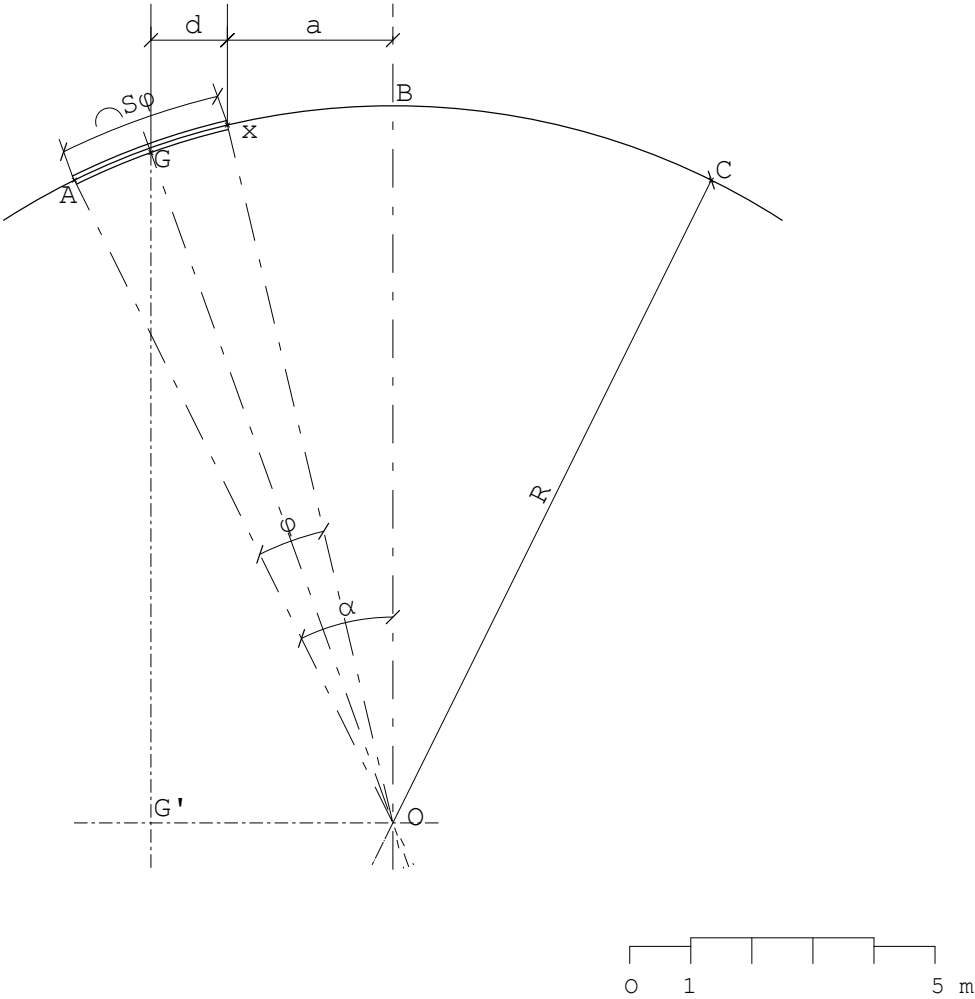
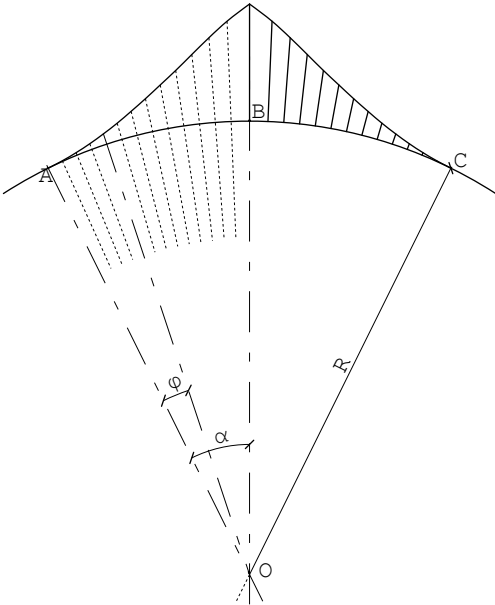
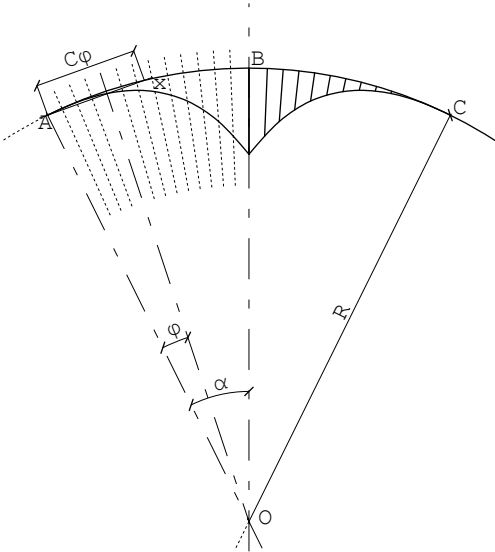


Figura 54 Figura elaborada por la autora.

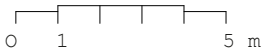
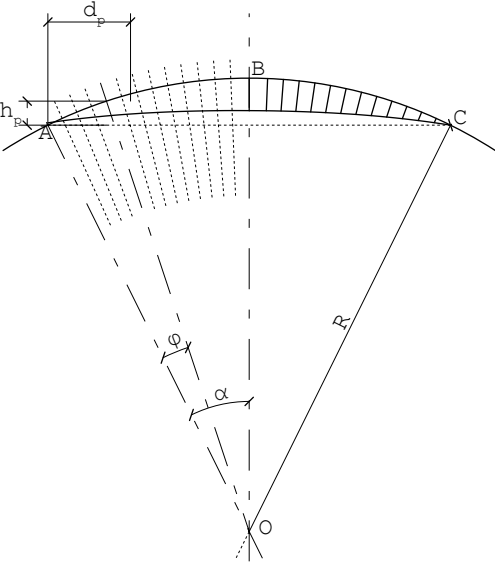
Momento debido al peso propio $M_{p\varphi}$						tabla 7.2.1	
$\varphi (^{\circ})$	$\alpha (^{\circ})$	$\cos (\alpha-\varphi)-\cos \alpha$	$\varphi \operatorname{sen} (\alpha-\varphi)$	$w\left(\mathrm{kg} / \mathrm{m}^2\right)$	$R \quad(\mathrm{m})$	$M_{p \varphi}\left(\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}\right)$	
0	26	0		240	10,84	0	
2	26	0,000553624		240	10,84	-15,61294434	
4	26	0,002237334		240	10,84	-63,09583842	
6	26	0,005082309		240	10,84	-143,3279397	
8	26	0,009115558		240	10,84	-257,0709876	
10	26	0,014359856		240	10,84	-404,9672285	
12	26	0,020833677		240	10,84	-587,5376819	
14	26	0,028551145		240	10,84	-805,180651	
16	26	0,037521988		240	10,84	-1058,170482	
18	26	0,047751503		240	10,84	-1346,656571	
20	26	0,059240532		240	10,84	-1670,662626	
22	26	0,071985441		240	10,84	-2030,08618	
24	26	0,085978114		240	10,84	-2424,698362	
26	26	0,101205954		240	10,84	-2854,143915	



Momentos debido a esfuerzos tangenciales $M_{t\varphi}$						tabla 7.2.2	
$\varphi (^{\circ})$	$\alpha (^{\circ})$	$\varphi \operatorname{sen} \varphi$	t	$R \quad(\mathrm{m})$	$M_{t \varphi}\left(\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}\right)$		
0	26	0,00000000	1137,58792	10,84	0		
2	26	0,00000709	1137,58792	10,84	0,947518977		
4	26	0,00005670	1137,58792	10,84	7,578766503		
6	26	0,00019129	1137,58792	10,84	25,57054638		
8	26	0,00045324	1137,58792	10,84	60,58582135		
10	26	0,00088475	1137,58792	10,84	118,2668137		
12	26	0,00152782	1137,58792	10,84	204,2281308		
14	26	0,00242420	1137,58792	10,84	324,0499252		
16	26	0,00361532	1137,58792	10,84	483,2710954		
18	26	0,00514227	1137,58792	10,84	687,3825378		
20	26	0,00704571	1137,58792	10,84	941,8204571		
22	26	0,00936584	1137,58792	10,84	1251,959743		
24	26	0,01214238	1137,58792	10,84	1623,107421		
26	26	0,01541446	1137,58792	10,84	2060,496188		



Momentos debidos a una fuerza horizontal $M_{H\varphi}$						tabla 7.2.3	
$\varphi (^{\circ})$	$\alpha (^{\circ})$	$\cos (\alpha-\varphi)-\cos \alpha$	$R \quad(\mathrm{m})$	$H \quad(\mathrm{kg})$	$M_{H \varphi}\left(\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}\right)$		
0	26	0	10,84	708,614042	0		
2	26	0,014751411	10,84	708,614042	113,3111402		
4	26	0,028389808	10,84	708,614042	218,072798		
6	26	0,040898574	10,84	708,614042	314,1573373		
8	26	0,05226247	10,84	708,614042	401,447694		
10	26	0,06246765	10,84	708,614042	479,8375182		
12	26	0,07150168	10,84	708,614042	549,231304		
14	26	0,079353554	10,84	708,614042	609,5445057		
16	26	0,086013707	10,84	708,614042	660,703641		
18	26	0,091474022	10,84	708,614042	702,6463803		
20	26	0,095727849	10,84	708,614042	735,321623		
22	26	0,098770004	10,84	708,614042	758,6895592		
24	26	0,100596781	10,84	708,614042	772,7217188		
26	26	0,101205954	10,84	708,614042	777,4010056		



Tablas 7.2.1, 7.2.2, y 7.2.3 Hojas de cálculo elaboradas por la autora
Figuras 55, 56 y 57 Figuras elaborada por la autora.

Tabla 7.2.4 Hoja de cálculo elaborada por la autora

Momentos finales $M_{F\varphi}$				
tabla 7.2.4				
$\varphi (^{\circ})$	$M_{D\varphi}$	$M_{T\varphi}$	$M_{H\varphi}$	$M_{F\varphi} (kg \cdot m)$
0	0	0	0	0
2	-15,61294434	0,947518977	113,3111402	98,64571488
4	-63,09583842	7,578766503	218,072798	162,5557261
6	-143,3279397	25,57054638	314,1573373	196,399944
8	-257,0709876	60,58582135	401,447694	204,9625278
10	-404,9672285	118,2668137	479,8375182	193,1371033
12	-587,5376819	204,2281308	549,231304	165,9217529
14	-805,180651	324,0499252	609,5445057	128,4137799
16	-1058,170482	483,2710954	660,703641	85,80425461
18	-1346,656571	687,3825378	702,6463803	43,37234745
20	-1670,662626	941,8204571	735,321623	6,479454285
22	-2030,08618	1251,959743	758,6895592	-19,43687835
24	-2424,698362	1623,107421	772,7217188	-28,86922197
26	-2854,143915	2060,496188	777,4010056	-16,24672144

DIAGRAMA DE M_F

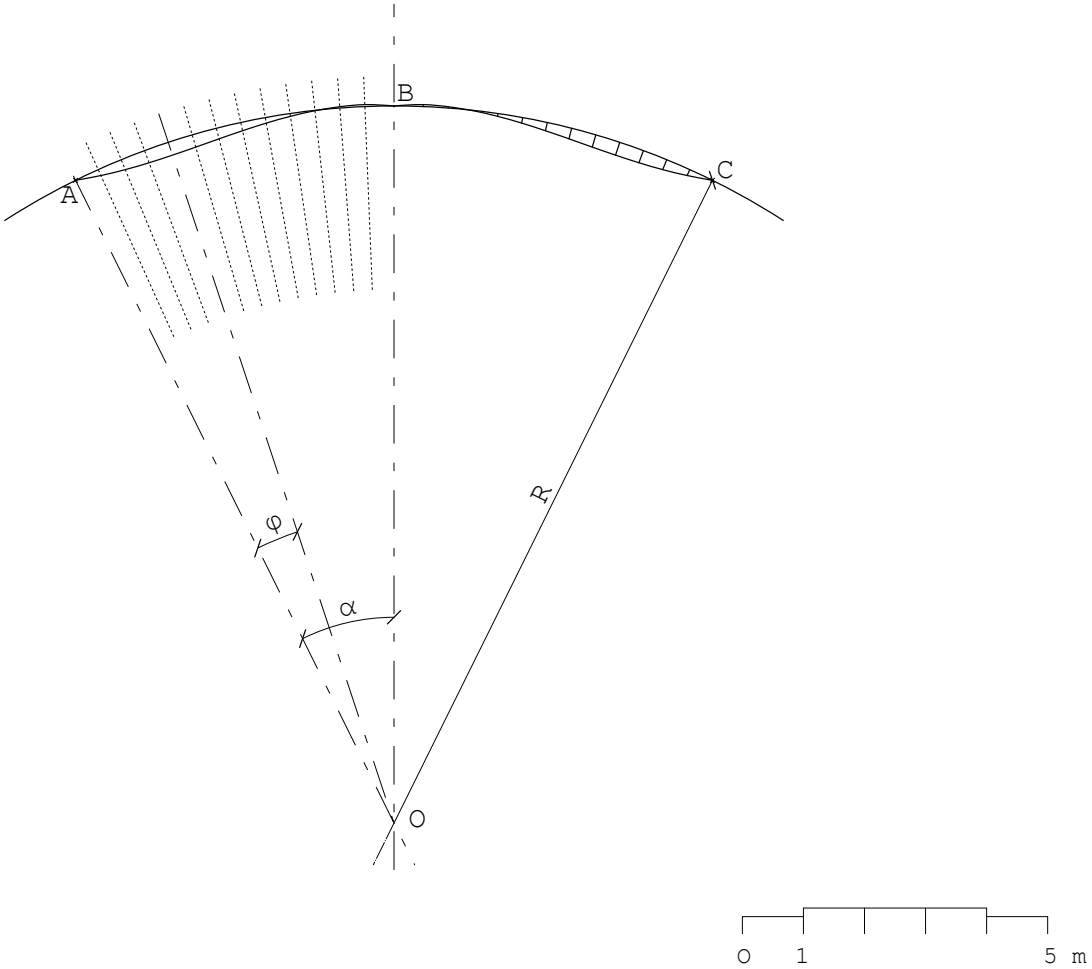


Figura 58 Figura elaborada por la autora.

ESFUERZOS CORTANTES

Fuerza cortante máxima vertical $V_r = w_b \cdot L = 2380,69 \text{ kg/m} \cdot 15,55 \text{ m} = 37019,7479 \text{ kg}$

* Se utiliza la luz total porque existe casaca a ambos lados del pilar.

Cortante $t = \frac{V_r}{2Z} = \frac{37019,75 \text{ kg}}{2 \cdot 1,05 \text{ m}} = 17689,4922 \text{ kg/m}$

Cortante unitario $V_c = \frac{V_r}{2Z \cdot e} = \frac{37019,75 \text{ kg}}{2 \cdot 1,05 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m}} = 176895 \text{ kg/cm}^2$

Área del acero $F_e = \frac{t}{\sigma_e} = \frac{17689 \text{ kg/m}}{2750 \text{ kg/cm}^2} = 6,4325 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \boxed{\text{Armado a cortantes } 3 \phi 20 (9,42 \text{ cm}^2) \text{ es decir } 1 \phi 20 (3,14 \text{ cm}^2) / 30 \text{ cm}}$

TIRANTE

$\tan \varepsilon \quad \tan \varepsilon = \frac{Z}{h} = \frac{1,05 \text{ m}}{4,09 \text{ m}} = 0,2558 \quad \varepsilon = 0,2505 = 14,35^\circ$

$\text{sen } \varepsilon = 0,2479 \quad \text{cos } \varepsilon = 0,9688$

Reacción del pilar debido al peso propio $P = w_b \cdot L = 2380,7 \text{ kg/m} \cdot 15,55 \text{ m} = 37019,7479 \text{ kg}$

$H = \frac{P}{\tan \varepsilon} = \frac{37019,75 \text{ kg}}{0,2558} = 144700,0459 \text{ kg}$

Reacciones R1 y R2 $R_1 = R_2 \quad R = \frac{P}{\text{sen } \varepsilon} = \frac{37019,75 \text{ kg}}{0,2479} = 149360,5202 \text{ kg}$

Resultante $P_{rr} = 2 \cdot P = 2 \cdot 37019,75 \text{ kg} = 74039,50 \text{ kg}$

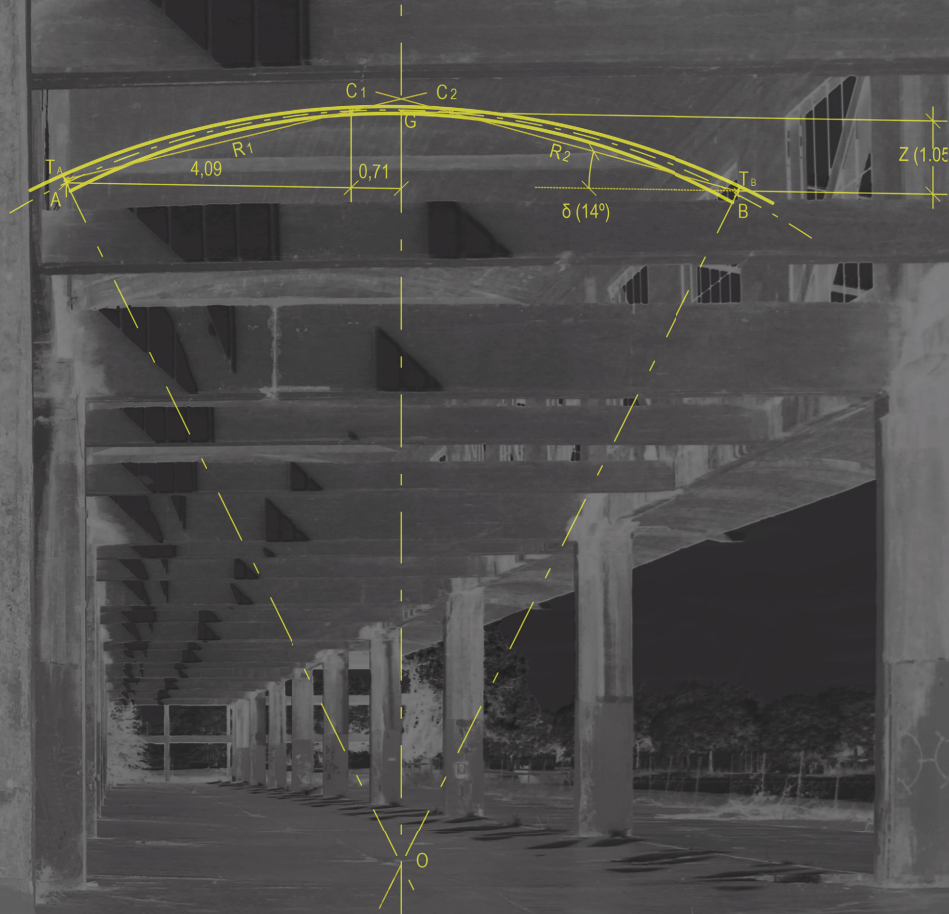
Área del acero $F_e = \frac{H}{\sigma_e} = \frac{144700 \text{ kg}}{2750 \text{ kg/cm}^2} = 52,6182 \text{ cm}^2$

\Rightarrow Armado del tirante $11 \phi 25 (54,00 \text{ cm}^2)$

* Puesto que se está haciendo un supuesto de construcción actual, se ejecutaría con un perfil metálico del mismo área.

** Además, en vez de realizar un único tirante a la altura del pilar, se van a realizar tres tirantes equidistantes a lo largo del vano, tal y como proyectó E. Teradas.

Esto da como resultado un área de $17,54 \text{ cm}^2$ $\left(\frac{\text{Área del tirante}}{3 \text{ tirantes}} \right)$
Se ha escogido un perfil redondo de 100,6 mm de diámetro ($17,40 \text{ cm}^2$)



- esfuerzo cortante y cálculo de tirantes -

Tablas 7.3 y 7.4 Hoja de cálculo elaborada por la autora

CORTANTES						tabla 7.3
	MED.	RESULTADO	INDEPENDIENTES		FUNCIÓN	Anotaciones
F cortante max vertical	kg	v_r	w _b	L	$V_n = W_b \cdot L$	De pilar a pilar porque hay cáscara a ambos lados de los apoyos
		37019,7478	2380,69	15,55	37019,74785	
Cortante	kg/m	t	v _r	z	$t = v_r / 2z$	
		17689,4922	37019,7	1,04638	17689,49216	
Cortante unitario	kg/cm²	v_c	t	e	$V_c = v_r / 2Ze$	3 ø20 (9,42 cm²)
		17,6894922	17689,5	0,1	17,68949216	
Área del acero	cm²/m	Fe	t	σ _e	$Fe = t / \sigma_e$	
		6,4325426	17689,5	2750	6,432542603	

TIRANTE						tabla 7.4
	MED.	RESULTADO	INDEPENDIENTES		FUNCIÓN	Anotaciones
		tan ε	Z	h	$\tan \epsilon = Z / H$	
		0,25583784	1,04638	4,09	0,255837845	
		sen ε	δ		$\sin \epsilon$	
		0,24785497	0,25047		0,247854974	
		cos ε	δ		$\cos \epsilon$	
Reacción del pilar por Pp.	kg	P	w _b	L	$P = w_b \cdot L$	
		37019,7478	2380,69	15,55	37019,74785	
		H	P	tan ε	$H = P / \tan \epsilon$	
		144700,046	37019,7	0,25584	144700,0459	
		R₁ = R₂	P	sen ε	$R_1 = P / \sin \epsilon$	
Reacciones R1 y R2	kg	149360,52	37019,7	0,24785	149360,5202	
		R	P		$R = 2 \cdot P$	
Resultante	kg	74039,4957	37019,7		74039,49569	
Área del acero	cm²	Fe	H	σ _e	$F = H / \sigma_e$	Se van a realizar 3, lo que deja un área de 17,54 m2 /perfil. Se escoge un perfil redondo de 100. 6 mm de diámetro (17,70 cm2)
		52,6181985	144700	2750	52,61819849	

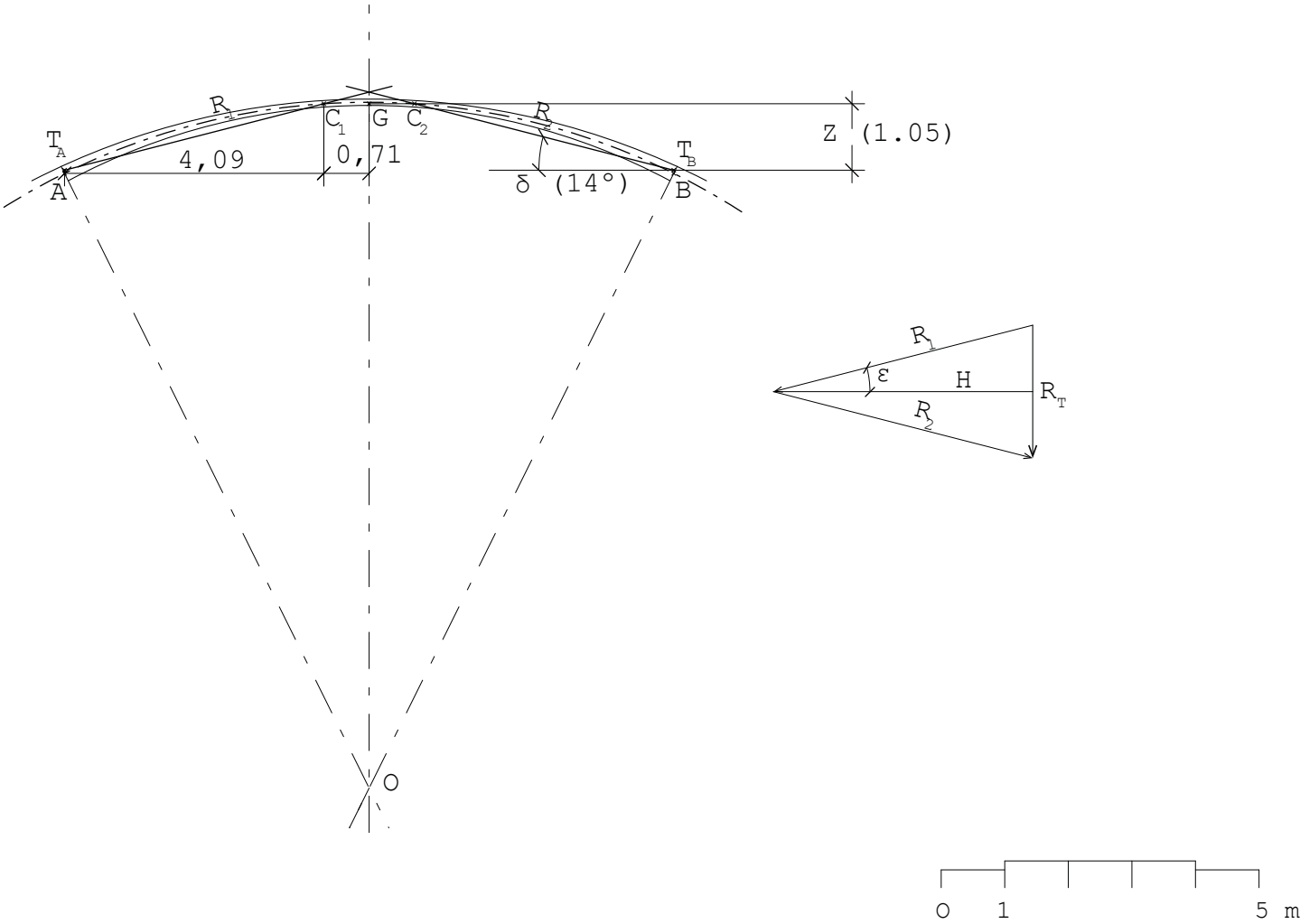
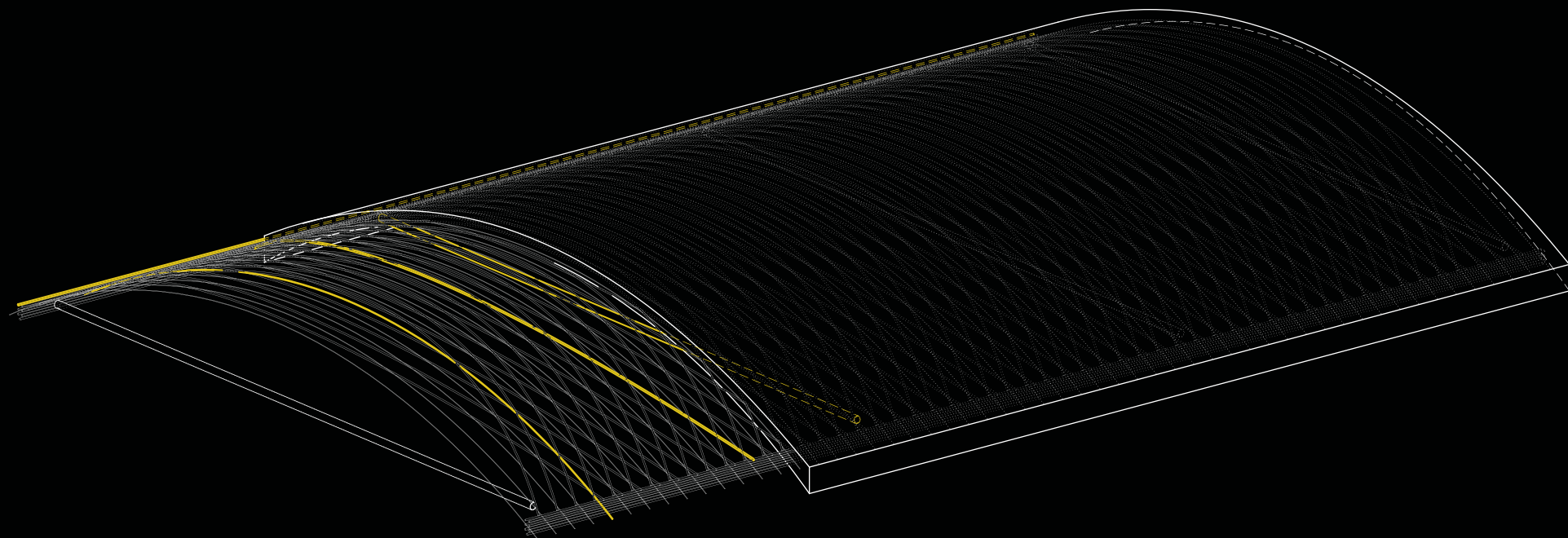
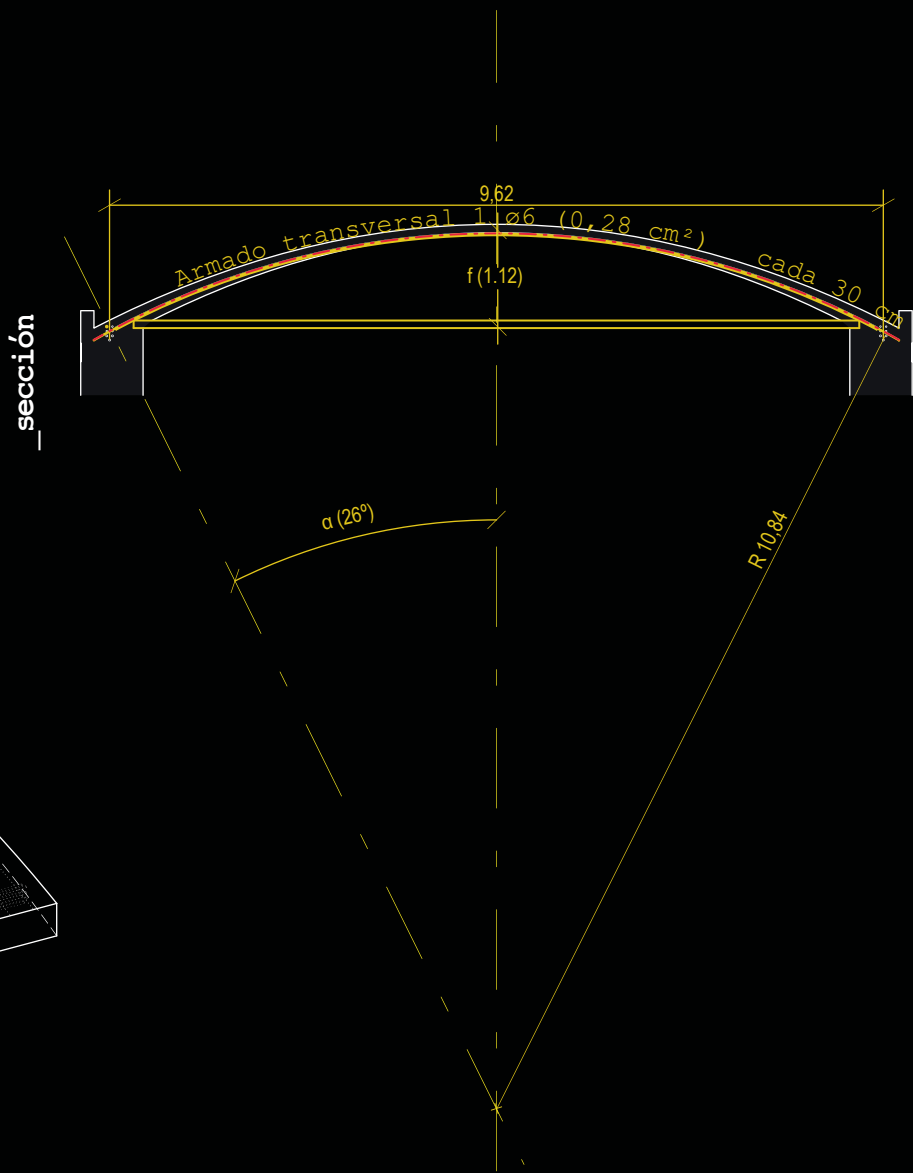


Figura 59 Figura elaborada por la autora.

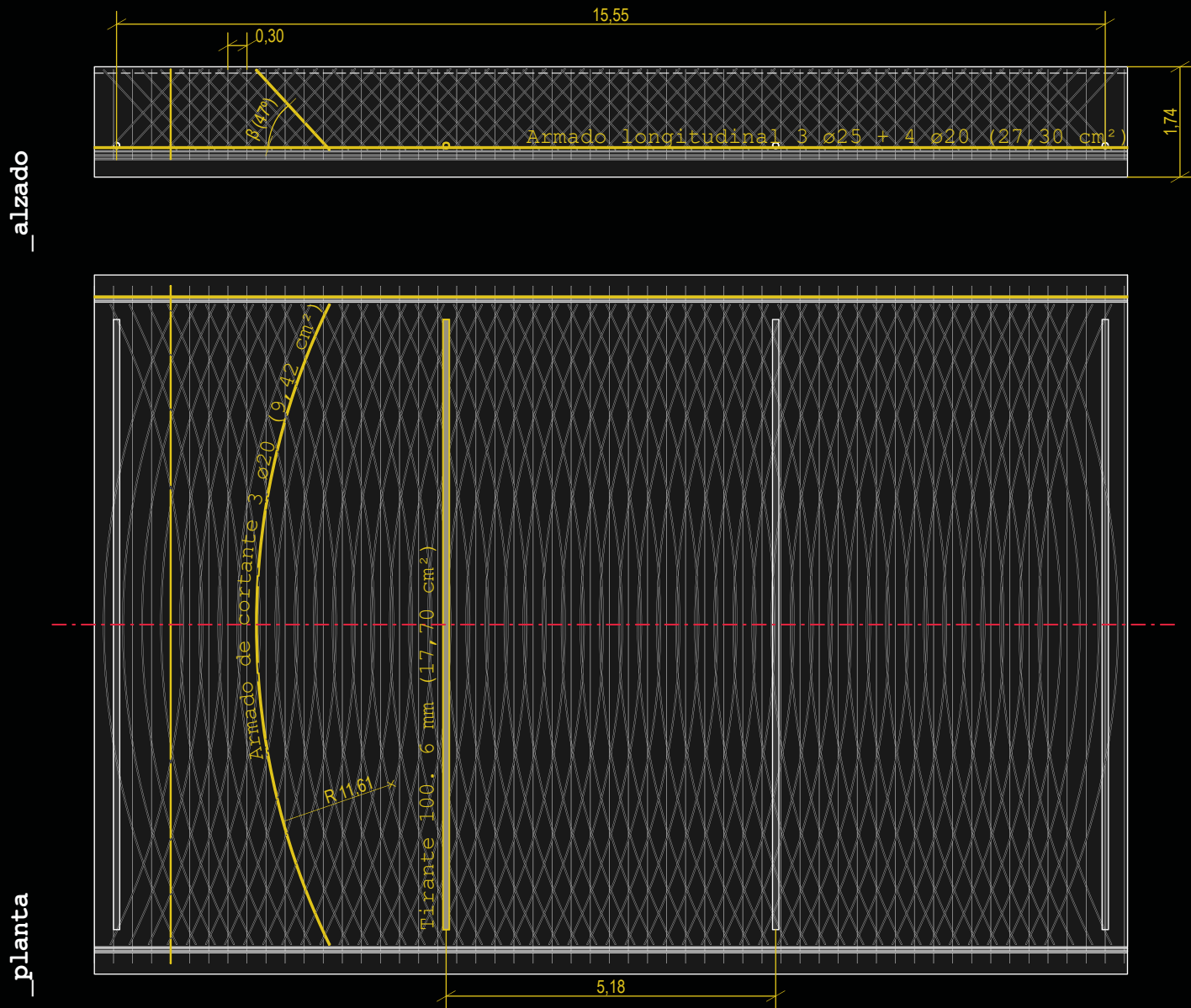
_desarrollo del armado de la cáscara cilíndrica



_axonometría



_sección



_alzado

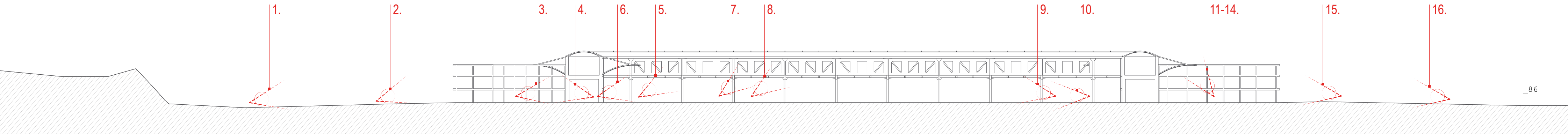
_planta



vii.

iii. reportaje fotográfico

Fotografías de la autora, 2019



1.



2.



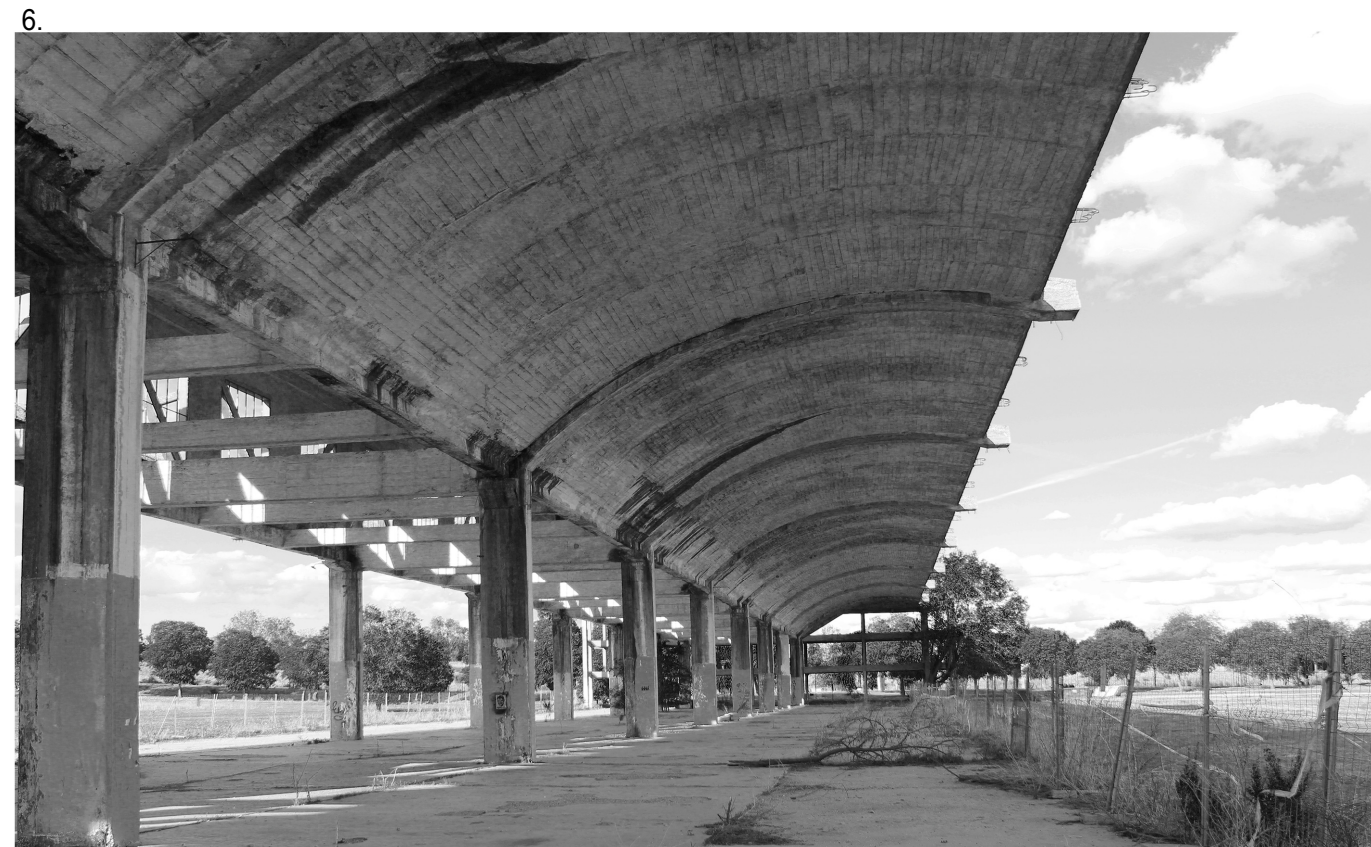
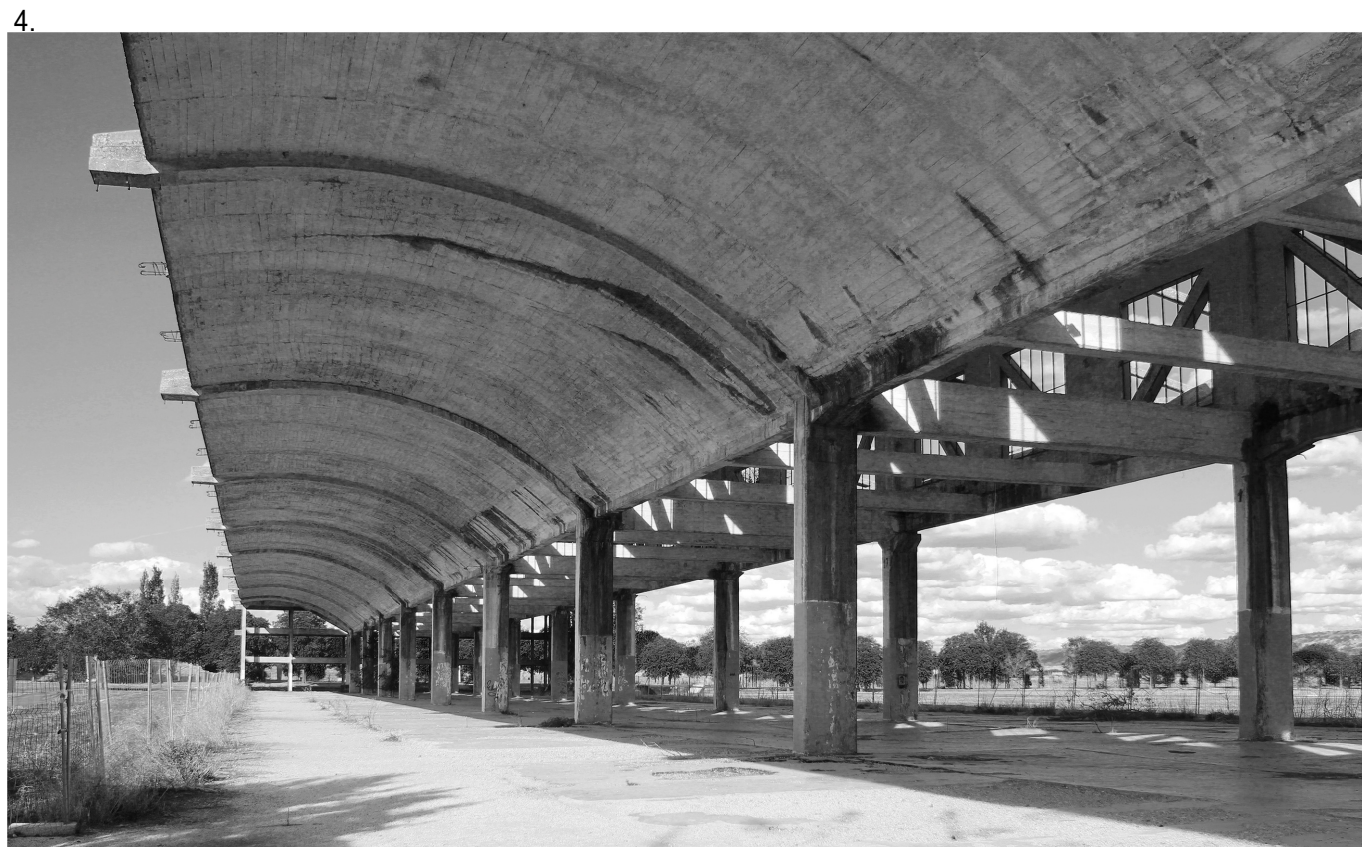
3.



1.

2.

3.



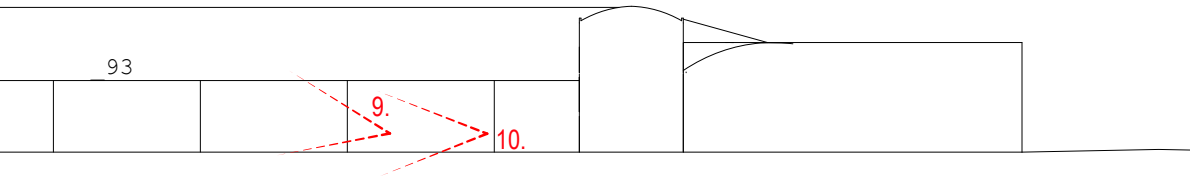
7.



8.



9.



10.





11.



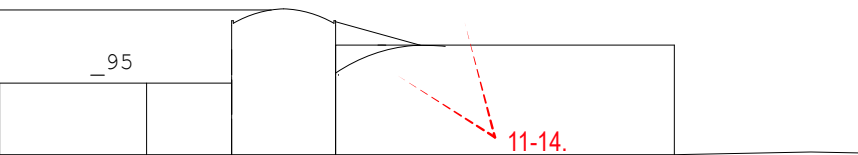
12.



13.



14.

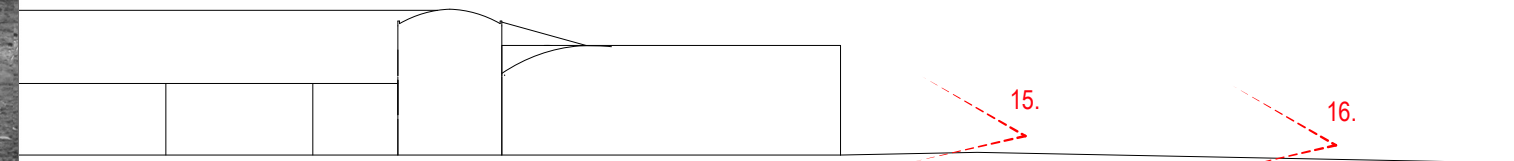




15.



16.



-conclusión-

El hangar del antiguo aeródromo Barberán y Collar ha permanecido hasta la actualidad como resquicio de la historia de la ciudad complutense. Sin embargo, yace olvidado en pleno campus universitario, despojado de todo uso. Su origen, su función, el por qué está ahí, son incógnitas para muchos de los viandantes.

Al principio del presente trabajo se planteó hasta qué punto el hangar forma parte del patrimonio histórico. Es evidente que es símbolo del pasado militar, y no solo de la ciudad, sino que forma parte de la historia de España. Asimismo, su construcción supuso un desafío para los ingenieros de la época debido a la cáscara cilíndrica que conforma su cubierta.

Bien es cierto que, gracias a los avances tecnológicos de hoy en día, las cáscaras cilíndricas no suponen ningún misterio para un programa informático, capaz de calcular la estructura en apenas unos segundos. Sin embargo, no siempre ha sido así. A principios de los años treinta, existía una evidencia experimental abrumadora de que el resultado del análisis elástico de una estructura no se podía observar en la realidad. Las imperfecciones de fabricación y ejecución de las cáscaras cilíndricas largas de hormigón armado, y sobre todo las pequeñas variaciones de las condiciones de contorno que eran esencialmente incognoscibles, hacían que las ecuaciones resultantes

de la aplicación de la Teoría de la Elasticidad fueran absolutamente irresolubles dada su complejidad matemática. No obstante, aunque el estado “real” de estas tipologías estructurales no se podían conocer, sí se podía calcular con gran precisión la “resistencia” de la estructura. Basándome en estudios de otros calculistas de la época sobre cáscaras cilíndricas largas, en el presente trabajo se ha realizado un cálculo sencillo de la estructura de cubierta del hangar en base a ecuaciones de equilibrio de la propia estructura. Lo que sugiere el hangar no es tanto su forma o su construcción a fecha de hoy, si no lo que supuso en los años cuarenta, cuando aún no existía un método de análisis estructural sencillo que conllevara fiabilidad estructural.

No siempre la sociedad debe dejarse llevar por la conservación de la historia, se debe dar cabida a futuras generaciones. En el caso concreto del hangar, es evidente que el uso para el cual fue concebido carece de sentido en la actualidad. Sin embargo, el desafío que supuso en aquella época es digno de conservar. Se podría haber regenerado dotándole de una nueva función. De esta manera se habría evitado que llegara a las condiciones en las que se encuentra a día de hoy: agrietado, fracturado, invadido por la vegetación e inaccesible por posibles desprendimientos, convirtiéndose así en una completa ruina.

-bibliografía-

Aguilar Hornos, J. 1989, “Evocación del Aeródromo militar de Alcalá de Henares y de la 1ª Bandera Paracaidista”, Revista de Aeronáutica y Astronáutica, vol. -, no. 582, pp. 698-701.

Anónimo n.d.a, n.d.-last update, Comparador de ortofotos PNOA. Available: https://www.ign.es/web/comparador_pnoa/index.html [2019, 04.abr.].

Anónimo n.d.b, n.d.-last update, REPARACIÓN DEL MERCADO DE ALGECIRAS (CÁDIZ). Available: <http://torrojaingenieria.es/HTML/TrabDetalle.php?Proyecto=142&texto1=Ver%20en%20el%20mapa&lang=enRafael> [2020, 23.mar.].

Anónimo 2018a, Aeródromo.

Anónimo 2018b, AEROPUERTOS.: EVOLUCIÓN DE LOS AEROPUERTOS A NIVEL MUNDIAL.

Anónimo 2014, El hangar de la Universidad de Alcalá fue construido en Gamonal (Burgos).

ASALE, R. 2019, , «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Available: <http://dle.rae.es/> [2019, 10.may.].

Ballesteros Torres, P. 2014, “Primeros tiempos de la Aviación en Alcalá de Henares” in El Ejército y Alcalá Ministerio de Defensa, Madrid, pp. 195-229.

Ballesteros Torres, P. 2011, “Más de cien años de rodajes cinematográficos en Alcalá de Henares. Filmografía 1905-2010.”, Anales Complutenses, vol. XXIII, no. 23, pp. 339-379.

Ballesteros Torres, P. 1995, Alcalá y el cine, Fund. Colegio del Rey, Alcalá de Henares.

Bourdon García, C. 2013, La Primera Bandera y el Primer Escuadrón de Paracaidistas del Ejército del Aire, 1947-1964, Edición del autor, Madrid.

Bourdon García, C. 2000, Paracaidistas de Aviación, Fundación Don Rodrigo, Madrid.

Bravo Fernández-Hermosa, J.M. & De Mariaga Fernández, R. 2007, El Seis Doble. Bravo y los Moscas en la Guerra Civil Española y en la II Guerra Mundial, Craftair-Agudín, Madrid.

Bustos Moreno, C. (coord.) 1990, La Universidad de Alcalá, Tomo II, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid.

Cueto Ruiz, J.I. 1999, “Félix Candela, el mago de los cascarones de concreto”, DC PAPERS, vol. 1, no. 2, pp. 31-40.

De Diego Pareja, Luis Miguel, L.M. (ed) 2001, Contribución del Ejército Español a la salvación de una ciudad patrimonio de la humanidad: Alcalá de Henares, Col. Adalid edn, Ministerio de Defensa, Madrid.

Diego Pareja, L.M. & Canalda Cámara, J.C. 2001, Alcalá de Henares. Crónica General, Brocar, Alcalá de Henares.

Diego Pareja, L.M. & Gómez Guerrero, A. 2004, Paracaidistas del Ejército: 50 años de historia, Minisrterio de Defensa, Secretaría General Técnica, Madrid.

Dunn, P. 2017, 09.05.-last update, EAGLE FARM AIRFIELD
BRISBANE, QLD
IN AUSTRALIA DURING WWII. Available: <https://www.ozatwar.com/eaglefarm.htm> [2019, 09.sept.].

Dunn, P. 2001, 18.abr.-last update, AMBERLEY AIRFIELD, QLD
DURING WW2. Available: <https://www.ozatwar.com/airfields/amberley.htm> [2019, 08.abr.].

Eguiluz, P. & Copertone, C. 2016, -07-19-last update, Los frontones de Zuazo. Available: <https://www.revistaad.es/arquitectura/articulos/los-frontones-de-zuazo/18206> [2020, 24.feb.].

Fernández López, R. 2014, De instituo psiquiátrico “La Milagrosa” a Base Primo de Rivera, vulgo “manicomio”, 1926-2007, Cultiva Libros, Madrid.

Fernández-Copel Larrinaga, J. 2006, La Escuadrilla Azul. Los pilotos españoles en la Luftwaffe, La Esfera de los Libros, Madrid.

Frías O’Valle, J. 1987, Así nació la Brigada Paracaidista, Impr. Cofas, Madrid.

Fundación San Roque, Bibliotecas Monreal del Campo y Calamocha y Centro de Estudios del Jiloca. 2019, , AERÓDROMOS MILITARES. Available: <http://elbauldela memoria.org/exhibits/show/guerraciviljiloca/aerodromos> [2019, 09.04.].

González-Betés, A. 2000, “Un aviador cambia de bando en la Guerra Civil Española. La increíble peripecia del piloto Ananías San Juan en noviembre de 1936”, Aeroplano, vol. -, no. 18, pp. 90-124.

Hidalgo de Cisneros y López-Montenegro, I. 2001, Cambio de Rumbo, Ikusager, Vitoria.

JRF 2015, Guía del antiguo Aeródromo militar Barberán y Collar actual Campus de la Universidad de Alcalá, Grupo en Defensa del Patrimonio Complutense, Alcalá de Henares.

Jurado Jiménez, F. 1982, Introducción a las láminas sin flexiones, Madrid.

Lledó Collada, P. 1999, Alcalá en guerra, Brocar, Alcalá de Henares.

López De La Osa, G. 2009, Origen y evolución de la cercha, Universidad Politécnica de Madrid.

Lundgren, H. 1951, Cylindrical Shells, The Danish Technical Press, Dinamarca.

Martínez Martínez, M. 2019, Juan Antonio Tonda Magallón y su método de cálculo estructural aplicado a las cáscaras cilíndricas largas de cubierta, Instituto Juan de Herrera, Ciudad de México.

Martínez Martínez, M. 2018a, Contribución del método de la viga al cálculo estructural de las cáscaras cilíndricas largas de cubierta, Fundacion Eduardo Torroja, Madrid.

Martínez Martínez, M. 2018b, “K.W. Johansen y el origen del cálculo plástico en las cáscaras cilíndricas largas de cubierta”, eds. S. Huerta, P. Fuentes, I.J. Gil Crespo & Universidad de Alcalá. Departamento de Arquitectura, Instituto Juan de Herrera, Alcalá de Henares.

Martínez Martínez, M. 2018c, “Proceso de cálculo de las cáscaras cilíndricas largas de cubierta en la obra de Félix Candela. El enfoque del equilibrio”, Informes de la Construcción, vol. 70, no. 551, pp. e260.

Martínez Martínez, M. & Echeverría Valiente, E. 2017, “Las bóvedas cilíndricas y su evolución hasta las cáscaras cilíndricas largas de cubierta de Félix Candela. Análisis geométrico y mecanico; Cylindrical vaults and their evolution to Felix Candela’s long

cylindrical roof shells. A geometric and mechanical analysis”, Expresión Gráfica Arquitectónica, vol. 22, no. 30, pp. 10.

Nothomb, P. 2001, Malraux en España, Edhasa, Barcelona.

Pérez Guerra, J. 2011, 23.Mar.-last update, En Cuatro Vientos, hace 100 años, empezó a volar la Aviación Española. Available: <http://infoenpunto.com/not/3699/en-cuatro-vientos-hace-100-anos-empezo-a-volar-la-aviacion-espanola/> [2019, 08.may.].

Permuy López, R.A. & Gonzalez Serrano, J.L. 2010, Atlas ilustrado de la Aviación Militar Española, Susaeta, Madrid.

Permuy López, R.A. & González Serrano, J.L. 2010, Atlas ilustrado en la Guerra Civil española, Susaeta, Madrid.

Riui, M. 1996, Los restos de un avión hallados en una cueva mexicana son los del mítico “Cuatro vientos” , ABC edn, Madrid.

Rivera Blanco, J (coord.) 2016, Universidad de Alcalá: Patrimonio de la humanidad = world heritage, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.

Rodrigo Tobajas, J.J. 2006, La aviación en Alcalá y la conversión de su segundo aeródromo en Campus de la Universidad de Alcalá. UAH, Alcalá de Henares.

Rodrigo Tobajas, J.J. 2003, “La aviación en Alcalá” in Alcalá de Henares. Páginas de su Historia. 2003. XII curso de Historia, Arte y Cultura IEECC, Alcalá de Henares (Madrid), pp. 180.

Ruiza, M., Fernández, T. & Tamaro, E. 2004, , Biografía de Esteban Terradas. . Available: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/t/terradas.htm> [2019, 07.abr.].

Sánchez Ron, J.M. 2004, “Esteban Terradas and Spanish technoscientific modernity*”, Contributions to science, vol. 2, no. 4, pp. 551-564.

Sánchez Ron, J.M. Año desconocido, Año desconocido-last update, Esteban Terradas e Illa | Real Academia de la Historia. Available: <http://dbe.rah.es/biografias/8647/esteban-terradas-e-illa> [2020, 23.mar.].

Togores Sánchez, L.E. 2011, Historia de la Guerra Civil española, La Esfera de los Libros, Madrid.

Wright, W. & Wright, O. n.d., n.d.-last update, Library of Congress. Available: <https://www.loc.gov/pictures/item/2001696490/> [2020, 10.feb.].

ARCHIVO DE LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ (UAH): Aulario María de Guzmán (antigua Facultad de Documentación) c/ San Cirilo, s/n. Planta sótano. 28804 Alcalá de Henares (Madrid)

Listado de unidades documentales consultadas

“Expediente de obras. Campus. Obras de acondicionamiento en zona de hangares. Pros y facturas. Acta mesa 6/11/03” 24820/? (31.05.2007)

“Correspondencia. Proyecto de invernadero. Hangares en el camus. Jardín botánico. 1995-1997” 25902 (13.12.2004)

“Correspondencia. Documentación sobre el proyecto de invernadero. Hangares en el campus. Jardín botánico. 1995-1997” 25902 (13.12.2004)

“Contiene planos, proyectos y seis fotografías de los antiguos hangares de la U.A. 1992-1993. ” 6815/1 (19.10.1996)

“Expediente de obras. Acondicionamiento en zona de hangares para gimnasio del Campus Universitario. 86/1-11, 86/1-12. Aprovechamiento de los hangares para gimnasio destinado a diversas especialidades deportivas aprovechando las estructuras existentes” 86/1-11, 86/1-12 86/1-13, 86/1-14 (20.04.1994)

“Expediente de obras. Informe previo a la redacción del proyecto del Invernadero en los hangares del Campus de la Universidad de Alcalá. 97/3-1” 97/3-1? (12.02.2003)

“Jardín botánico. proyecto nº 14. Informe previo a la redacción del proyecto de invernadero en los hangares del Campus de la U.A.H. Mayo 1995” 97/3-1 (12.02.2003)

“Proyecto Básico para la rehabilitación de los antiguos Hangares como invernaderos del Campus del Jardín Botánico Juan Carlos I de la Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares (Madrid) 97/5” 97/5 (23.07.2003)

“Memorias. Proyecto Básico y de ejecución de la rehabilitación de los antiguos Hangares del Campus como invernaderos del Jardín Botánico Juan Carlos I de la Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares Julio 2000” 97/9-1 (2000)

“Expediente de obras. Proyecto básico de la rehabilitación de los antiguos Hangares del Campus [como invernaderos] del Jardín Botánico Juan Carlos I de la Universidad de Alcalá de Henares (Madrid) 97/5” 97/9-2 (1999)

“Planos. Proyecto básico de la rehabilitación de los Antiguos Hangares del Campus del Jardín Botánico de Juan Carlos I de la UAH” 99/1 (1999)

“Expediente de obras. Hangares del Campus de la UA: Informe de patología 99/1-1, 99/1-2” 99/1-1, 99/1-2 (01.02.1995)

“Expediente de obras. Antiguos hangares del campus de la UA: Informe técnico y estudio previo de la estructura 99/1-3” 99/1-3/1? (01.12.1992)

“Hangares. Proyecto 03. Invernadero de exhibición de plantas tropicales. Memoria I y II. Mediciones y presupuestos. Ensayos Químicos realizados en el hormigón. Nomenclatura de patología. Informe geológico.” 99/2-99/3 (1995)

“Hangares. Proyecto nº4. Proyecto de ejecución para la rehabilitación de los antiguos hangares como invernaderos del Campus del Jardín Botánico Juan Carlos I de la Universidad de Alcalá de Henares.” 99/3-99/4 (1995)

“Hangares. Proyecto nº5. Proyecto básico de rehabilitación de los antiguos hangares del Campus del Jardín Botánico Juan Carlos I de la Universidad de Alcalá de Henares.” 99/3-99/5 (1999)

“Expediente de obras. Proyecto de ejecución para la rehabilitación de los antiguos hangares como invernaderos del Campus del Jardín Botánico Juan Carlos I de la Universidad de Alcalá de Henares.99/4” 99/4-99/3-4 (01.12.1999)

“Hangares. Proyecto nº4. Proyecto de ejecución para la rehabilitación de los antiguos hangares como invernaderos del Campus del Jardín Botánico Juan Carlos I de la Universidad de Alcalá de Henares.Diciembre 1999” 99/4 (1999)

“Planos. Documentación sobre el proyecto de invernadero. Hangares en el campus. Jardí botánico.” 99/5/6 (1995)

“Los Hangares. S.P. Levantamiento de los Hangares. 5 planos (cotas, alzados de la planta, secciones y detalles)” 99/SP/1 a 5 (1990)

“Hangares del Campus. S.P. Taller de Moscato. 1 croquis. 1993” 99/SP/6 (1993)

“Fotografías. Antiguos hangares del Campus.” II/50, II/51, II/52, VII/63, VII/64, VII/65, VII/66, VII/67, VII/68, VII/69, VII/71, VII/72, VII/73, VII/113, VII/114, VII/115, XI/95 (1989)

“Jardín botñanico. Proyecto nº 15. Proyecto básico para la rehabilitación de los antiguos Hangares como invernaderos del Campus del Jardín Botánico Juan Carlos I de la U.A. Alcalá de Henares (Madrid)” 97/5-97/8 (2000)

– LISTA DE FIGURAS –

Figura 1. Fotografía de la autora (2019) *Hangar lineal del Antiguo Aeródromo Barberán y Collar*

Figura 2 Wright, W. y O. (1903) *1903 machine and large camp building where it was housed, and smaller building used as a workshop and living quarters at Kill Devil Hills* [fotografía]. Washington, D.C. : Library of Congress

Figura 3 Anónimo *En Cuatro Vientos, hace 100 años, empezó a volar la Aviación Española* [fotografía]. Disponible en: infoenpunto.com [Consultado 08-05-2019]

Figura 4 Anónimo *El nacimiento de la hidroaviación militar española: el aeródromo de los Alcácares* [fotografía]. Disponible en: museoaeronauticoalcazares.blogspot.com [Consultado 2019]

Figura 5 Anónimo *GUERRA CIVIL ESPAÑOLA - Aeródromos Republicanos de la GCE y regiones aéreas* [fotografía]. Disponible en: http://www.errepublika.org/AERODROMOS_REPUBLICANOS.htm [Consultado 08-04-2019]

Figura 6 Anónimo *El aeródromo de la Torrecica en Albacete* [fotografía]. Disponible en: www.mondejarfoto.es [Consultado 08-04-2019]

Figura 7 Anónimo *P-38 Lightnings, minus wings, awaiting erection in front of Hangar No 6 and left at Hangar No. 5 at the right* [fotografía]. Disponible en: <https://www.ozatwar.com/eaglefarm.htm> [Consultado 09-09-2019]

Figura 8 Anónimo (1942) *Desfile militar en el Aeródomo de Sabadell, con motivo de la celebración de la festividad de la <Patrona de la Aviación> en la posguerra.* [fotografía]. Disponible en: <http://leandroaviacion.blogspot.com/2016/12/1942-historicas-imagenes-del-aerodromo.html> [Consultado 2019]

Figura 9 Anónimo *Aeropuestos.: evolución nde los aeropuertos a nivel mundial.* [fotografía]. Disponible en: historiadelosaeropuertos-ipn.blogspot.com [Consultado 2019]

Figura 10 luipermom (2014) *Hangares abandonados en medio del campus de ciencias de la Universidad de Alcalá de Henares* [fotografía]. Disponible en: <https://luipermom.wordpress.com/2014/01/27/los-hangares-abandonados-de-la-u-a-h/>

Figura 11 Anónimo (1944) *Aeródromo Campo del Ángel* [fotografía] Disponible en: <https://alcalaturismoymas.com/el-antiguo-aeropuerto-de-alcala-de-henares/> [Consultado 2019]

Figura 12 Anónimo *Aeródromos activos o en construcción durante la Guerra Civil* [imagen] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa

del Patrimonio Complutense

Figura 13 *Paracaidistas en el patio de armas del Edificio Escuadrón* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 14 Anónimo (1987) *Vista aérea del Aeródromo Barberán y Collar de 1967* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 15 Wright, W. y O. (1903) *Primer vuelo a motor* [fotografía]. Disponible en: <https://historiaybiografias.com/wright/> [Consultado 18.10.2019]

Figura 16 (1909) *Puesta a punto del aeroplano de Gaspar Brunet y Juan Olivert, en el Prat de Llobregat “La Volatería” antes de iniciar sus pruebas.* Fondo Josep Monés Amat

Figura 17 *Jean Mauvais* [fotografía]. Disponible en: <https://miradasenior.wordpress.com/2017/09/10/acontecimientos-de-hace-un-siglo-ii/> [Consultado 18.10.2019]

Figura 18 (1921) *Campo del Ángel 1921.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 19 *Aeródromo del Campo del Ángel. Al fondo, ADH.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 20 *Torre de mando original, en los años 40.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 21 *Edificio escuadrón, años 50.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 22 *Pilares de hormigón. Detrás, el fuselaje de un Junkers 52.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 23 *Distribución del primer grupo de hangares proyectados.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 24 (1944) *Aeródromo: hangar lineal en construcción.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 25 *Paracaidistas del Aire preparados para el salto, forman junto a la torre.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 26 (16.04.1955) *Aeródromo.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 27 *Paracaidistas del Aire saltando sobre su cuartel complutense; abajo se puede ver el hangar lineal.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 28 *Patio de armas y torre de secado.* [fotografía] Alcalá de Henares: Grupo de Defensa del Patrimonio Complutense

Figura 29 Fotografía de la autora (2019) *Torre de mando*

Figura 30 Fotografía de la autora (2019) *Facultad de biología y biología sanitaria*

Figura 31 J. Latova (1989) *VII-114* [fotografía]. Alcalá de Henares: Archivo de la Universidad de Alcalá

Figura 32 Fotografía de la autora (2019) *Facultad de biología y biología sanitaria*

Figura 33 Fotografía de la autora (2019) *Taller de vidrio*

Figura 34 Fotografía de la autora (2019) *Capilla abandonada*

Figuras 35 Imagen elaborada por la autora sobre fotografía original: Instituto Geográfico Nacional, (1956-57). Disponible en: https://www.ign.es/web/comparador_pnoa/index.html [Consultado 04-11-2019]

Figuras 36 Imagen elaborada por la autora sobre fotografía original: Instituto Geográfico Nacional, (1996-97). Disponible en: https://www.ign.es/web/comparador_pnoa/index.html [Consultado 04-11-2019]

Figuras 37 Imagen elaborada por la autora sobre fotografía original: Instituto Geográfico Nacional, (2017). Disponible en: https://www.ign.es/web/comparador_pnoa/index.html [Consultado 04-11-2019]

Figuras 38 Imagen elaborada por la autora. *Elemento superficial*

Figuras 39 Imagen elaborada por la autora sobre imagen base: J.A.. Tonda (1973) *Figura 10* [imagen]. México: IMCYC

Figuras 40 Lundgren H. (1949). *Cylindrical Shells. Volumen I Cylindrical Roofs*. The Danish Techical Press the Institution of danish Civil Engineers

Figuras 41 Imagen elaborada por la autora sobre fotografía base: P.B. Morice (1952) *Puesta en carga de un modelo de cáscara* [fotografía]. México: Instituto Juan de Herrera.

Figuras 42 Imagen elaborada por la autora sobre fotografía base: P.B. Morice (1952) *Efecto rotura de la puesta en carga de un modelo de cáscara cilíndrica larga* [fotografía]. México: Instituto Juan de Herrera.

Figura 43 Imagen elaborada por la autora sobre imagen base: Fr. Dischinger y U. Finsterwalder (1926) “*Die Dywidag-Halle auf der Gesolei*” [fotografía]. Alemania: Der Bauingenieur 7, figura 3, pp. 929, 930.

Figura 44 Imagen elaborada por la autora sobre imagen base: D.R. (Año desconocido) *El interior del frontón Recoletos y su doble bóveda flotante*. Disponible en: <https://www.revistaad.es/arquitectura/articulos/los-frontones-de-zuazo/18206> [Consultado el 24.02.2020]

Figura 45 Imagen elaborada por la autora sobre imagen base: Anónimo (1998) Disponible en: <http://torrojaingenieria.es/HTML/TrabDetalle.php?Proyecto=142&texto1=Ver%20en%20el%20mapa&lang=enRafael> [Consultado el 23.03.2020]

Figura 46 Imagen elaborada por la autora sobre imagen base: Martínez Martínez, (2018) *Vista interior del Almacén Pisa, San Bartolo, Estado de México, México 1951* [fotografía] Informes de la Construcción, vol. 70, no. 551, pp. e260.

Figura 47 Imagen elaborada por la autora sobre imagen base: Anónimo (Año desconocido) Disponible en: <https://unavidamoderna.tumblr.com/image/83133124957> [Consultado el 23.03.2020]

Figura 48 Dibujo de la autora. *Hangar lineal del Antiguo Aeródromo*

Figura 49 Elaboración propia (2020) [imagen] Ortofotografía base: Instituto Geográfico Nacional, (1956)

Figura 50 [imagen] AMAH, Legajo 1506/3.

Figura 51 Imagen elaborada por la autora. *Perspectiva fugada del hangar*

Figura 52 Imagen modificada: Rey Pastor, J. (1933) *Contestación* [fotografía] Madrid: Contributions to science.

Figura 53 Imagen elaborada por la autora. *Cálculo longitudinal* [imagen]

Figura 54 Imagen elaborada por la autora. *Cálculo transversal* [imagen]

Figura 55 Imagen elaborada por la autora. *Momentos debidos al peso propio* [imagen]

Figura 56 Imagen elaborada por la autora. *Momentos debidos a esfuerzos tangenciales* [imagen]

Figura 57 Imagen elaborada por la autora. *Momentos debidos a una fuerza horizontal* [imagen]

Figura 58 Imagen elaborada por la autora. *Momentos finales* [imagen]

Figura 59 Imagen elaborada por la autora. *Cálculo de tirantes* [imagen]

